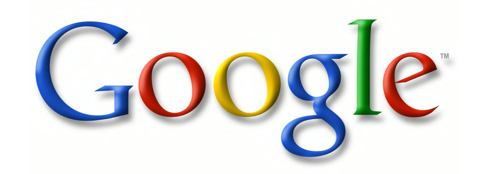
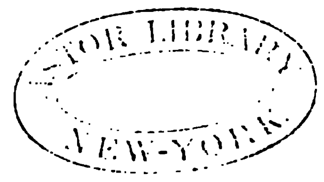


TRAITÉ COMPLET
DE MÉCANIQUE
APPLIQUÉE AUX ARTS,

CONTENANT l'Exposition méthodique des théories et des expériences les plus utiles pour diriger le choix, l'invention, la construction et l'emploi de toutes les espèces de machines;

PAR M. J.-A. BORGNIS,
INGÉNIEUR ET MEMBRE DE PLUSIEURS ACADÉMIES.

Mouvemens des Fardeaux.



PARIS,
BACHELIER, LIBRAIRE, QUAI DES AUGUSTINS.

1818.

AVERTISSEMENT.

Ce Traité spécial a pour but un des objets les plus importans de la mécanique pratique, le *Mouvement des Fardeaux*. Sous cette dénomination, je comprends toutes les espèces de translations et de changemens de position que l'on peut faire subir aux corps inanimés, depuis les plus petits jusqu'aux plus gigantesques.

Il est divisé en trois livres. Le Ier. traite des différentes machines dont on fait généralement usage pour imprimer le mouvement à des fardeaux quelconques; le IIe. de leur transport sur des plans horizontaux ou inclinés; enfin le IIIe. de leur levage vertical et oblique.

Après quelques considérations préliminaires sur le choix des machines les plus avantageuses dans les diverses circonstances, je donne des détails étendus sur la fabrication des cordes et sur la manière de s'en servir; je rapporte les principales expériences qui ont été faites sur leur résistance, par *Duhamel*, et les divers procédés imaginés pour l'augmenter. J'indique comment on forme les épissures, les nœuds et les amarrages. Je passe ensuite à la description des leviers, des cabestans, des diverses espèces de treuils horizontaux désignés par les noms de *virevaux*, *moulinets*, *roues à chevilles*, *roues à tambour*, *roues à double force*, des poulies, des treuils à deux parties, des vis, des coins, des crics, des machines à engrenages. J'en rappelle les principaux usages, et les avantages et les inconvéniens qui leur sont propres. Je fais connaître ensuite quelques moyens ingénieux imaginés pour produire de grands effets sans l'emploi immédiat des machines.

Il est indispensable que le mécanicien connaisse les résistances passives qui nuisent à l'effet utile des machines, qu'il sache évaluer le déchet qu'elles occasionent, et enfin que les moyens de diminuer ces résistances ne lui soient point inconnus. Il y a plusieurs espèces de résistances passives, dont les principales

sont l'obliquité de traction, le défaut de solidité des points d'appui, les secousses irrégulières, les changemens brusques de la direction du moteur ou de la vitesse avec laquelle il agit, le frottement et la roideur des cordes; j'examine chacune de ces résistances, et particulièrement les deux dernières, qui sont très-importantes; je rapporte les précieuses expériences faites par *Coulomb* et publiées dans la pièce qui remporta le prix proposé par l'Académie des Sciences pour 1781.

Dans les mouvemens des fardeaux on n'emploie ordinairement que les moteurs animés; j'ai réuni dans le dernier chapitre du premier livre les observations de *Désaguliers*, de *Daniel Bernouilli*, et de quelques autres physiciens, sur la force des hommes et des animaux, et les recherches de *Coulomb* sur la même matière, auxquelles j'ai ajouté quelques épreuves faites dans ces derniers temps à l'aide du dynanomètre de M. *Reignier*.

Le IIe. livre commence par une digression sur la construction des anciennes *voies romaines* comparées aux grands chemins modernes dans les différens pays de l'Europe. Je rapporte ensuite les belles expériences du comte de *Rumford*, au moyen desquelles je détermine la résistance que le roulage d'une voiture éprouve suivant qu'elle chemine sur une chaussée pavée en grès d'échantillon, ou formée d'un simple empierrement, ou bien encore suivant que cette route est pratiquée sur le terrain naturel, et que ce terrain est sablonneux, ferme ou compressible. Après avoir comparé les transports par terre et ceux par eau, je passe à la description des chemins en fer usités en Angleterre pour faciliter l'exploitation des mines de fer et de charbon, et j'indique les moyens de les établir.

La description des différentes espèces de traîneaux, de chariots, de charrettes et autres véhicules les plus généralement en usage, forme le sujet du 2ème. chapitre, dans lequel on trouve des observations sur la meilleure manière d'atteler les chevaux, et sur la position la plus avantageuse des paloniers et des traits; on y trouve également l'examen comparatif des voitures à deux et à quatre roues, des détails utiles de charronnage, des *devis*, c'est-à-dire des descriptions pièce à pièce d'une charrette et d'un grand chariot.

J'examine spécialement, dans les six chapitres suivans, les transports des diverses espèces de matériaux, en commençant par les plus menus, tels que les terres, les graviers, les cimens, les moellons, etc. Je rapporte les expériences faites sur le roulage des terres à la brouette, par *Vauban*, *Perronet*, *Coulomb*, *Gauthey* et plusieurs autres ingénieurs. J'indique, d'après ces expériences, le temps employé au transport d'une quantité donnée de terre à une distance déterminée, et je distingue les cas où il est plus avantageux d'employer soit des brouettes roulées par un seul ouvrier, soit des camions mis en mouvement par un certain nombre d'hommes, soit enfin des tombereaux tirés par des chevaux.

Les moyens employés pour le transport des bois de charpente depuis la forêt qui les produit jusques sur les chantiers où ils doivent être mis en œuvre, sont décrits dans le chapitre suivant, où je parle d'abord des *couloirs* que l'on pratique sur le penchant des montagnes pour y faire glisser les pièces de charpente en les abandonnant à l'action de leur pesanteur. Je décris ensuite les traîneaux sur lesquels on place les bois exploités, quand on veut les conserver dans leur fraîcheur; je parle du flottage ou transport par eau; je passe à la description détaillée des *fardiers* et des *triqueballes*; et je m'arrête particulièrement à faire connaître les procédés employés pour le transport des mâtures.

Le chapitre 5ème. du second livre contient tout ce qui est relatif au transport de la pierre de taille, soit depuis la carrière jusqu'au chantier, soit dans l'intérieur même du chantier jusqu'à pied d'œuvre. On y trouve la description de la grande voiture appelée *hacquet*, qui sert au premier de ces transports; et des différentes espèces de binards employés sur les ateliers.

J'ai consacré le chapitre suivant à ces opérations rares et mémorables qui font époque dans l'histoire des Arts. Je décris d'après le témoignage des auteurs anciens, et d'après les traces que l'on observe encore dans les monumens mêmes, le transport des obélisques, des temples monolithes égyptiens et de la voûte monolithe du tombeau de Théodoric à Ravenne. Je passe ensuite à la description du transport du rocher de Pétersbourg dont le poids excède trois millions de livres.

Les précautions qu'exige le transport des statues et autres productions précieuses des Beaux-Arts, sont indiquées dans le 7ème. chapitre, où l'on trouvera aussi une ample description du transport des fameux groupes de Coustou, depuis Marly, jusqu'à l'emplacement qu'ils occupent à l'entrée des Champs-Élysées, et du transport de la statue équestre de Louis XV, détruite par le vandalisme révolutionnaire.

En divers temps on a effectué le déplacement de pans de murailles assez considérables sur lesquelles il y avait des peintures à fresque, que l'on voulait conserver, et on a même transporté une chapelle entière qui existe encore maintenant dans une église à Rome. J'ai cru qu'il n'était pas inutile de faire connaître les procédés que l'on a employés pour effectuer ces opérations extraordinaires.

Le chapitre 9ème. est spécialement consacré aux transports des fardeaux sur les plans inclinés. La plus merveilleuse de toutes les opérations de cette espèce est sans doute celle du lancement des vaisseaux à la mer; j'ai décrit la marche de cette belle opération et j'ai rapporté plusieurs détails intéressans donnés par M. *Vial de Clairbois* et par M. *Coulomb*. Ensuite j'ai parlé de deux autres opérations très-importantes, celle d'abord de tirer à terre les vaisseaux, et ensuite celle de les remettre à flot quand ils sont échoués. M. *Chicallat* a imaginé et mis en pratique un moyen très-ingénieux d'effectuer cette opération, dont on trouvera le détail dans ce même chapitre.

Le dernier chapitre du second livre contient une dissertation sur les théâtres mobiles de Caïus Curion dont Pline nous a transmis la description. Cette étonnante construction est regardée comme un prodige de hardiesse. J'ai examiné les moyens que l'on a probablement employés, et j'ai recherché quelle devait être la force nécessaire pour mettre en mouvement ces deux théâtres mobiles, en les supposant chargés du poids de douze mille spectateurs.

Le IIIe. livre traite, comme nous l'avons dit, du levage vertical et oblique des fardeaux. Dans le 1er. chapitre on trouve la description des appareils connus sous le nom d'*écoperches*, de *bigues*, de *chèvres*, etc., et des échafaudages employés dans la construction des édifices, et particulièrement du grand échafau-

dage dont on se servit à Rome pour déplacer la colonne Antonine et pour ériger les obélisques.

Le levage oblique des fardeaux est l'objet du chapitre suivant dans lequel j'indique d'abord les méthodes de faire parvenir un fardeau à un point qui ne corresponde pas verticalement à celui où il se trouve au commencement de son élévation; ensuite je décris les grues mobiles, et enfin je donne, d'après *Perronet*, le devis d'une grue employée pour la construction du pont de Neuilly, et d'après M. *Rondelet* la description de celle dont il est l'auteur, et qu'il a employée au Panthéon.

Le 3ème. chapitre contient la description des appareils usités pour le chargement et le déchargement des bateaux, et entre autres de la grue placée sur le bord de la Seine entre le pont du Louvre et le pont Royal, de celle qui existe près du pont des Invalides, et de la grue à plan incliné, établie à Liverpool. Parmi tous les appareils destinés à élever habituellement de grands fardeaux, la machine à mâter occupe le premier rang. Je décris les trois espèces principales de machines à mâter, 1°. celle formée par d'énormes bigues établies sur une base solide, 2°. les machines a mâter flottantes, 3°. les machines placées sur des tours en maçonnerie, comme celles de Copenhague et de Venise.

Les meilleures méthodes de transporter à des hauteurs quelconques les menus matériaux sont discutées dans le chapitre 4e. Le 5ème. chapitre traite du levage et de la pose des pièces de charpente dans les constructions d'architecture civile et navale. Les procédés qu'on a suivis pour le cintrement des ponts les plus célèbres, y sont indiqués particulièrement, et on y trouve la description du levage de l'arcasse, des couples et autres parties volumineuses de la charpente d'un grand vaisseau.

Le levage des pierres de taille est amplement détaillé dans le 6ème. chapitre où je décris aussi la mémorable opération de la pose des deux énormes pierres (*a*) de dix-sept mètres de longueur, qui couvrent le fronton de la colonnade du Louvre. Ces blocs dont la plupart des Parisiens ignorent l'existence, sont

---

(*a*) Par erreur de typographie, on trouve dans le paragraphe 354 que chacun de ces blocs avait vingt-trois mètres.

aussi dignes d'être connus et admirés que certaines constructions *cyclopéennes*, *égyptiennes* ou *romaines*, devant lesquelles on ne cesse de s'extasier, uniquement parce qu'elles sont antiques. On peut affirmer qu'à l'exception de quelques colonnes monolithes, il n'y a dans aucun monument grec ou romain actuellement connu (sans en excepter le temple si fameux des *Géans d'Agrigente*) des blocs d'une aussi grande longueur, et dont le levage et la pose fussent d'une égale difficulté.

L'érection des colonnes monolithes et des obélisques est traitée dans le chapitre 7ème. où j'ai indiqué toutes les opérations qui furent faites, et toutes les précautions qui furent prises par *Dominique Fontana* pour enlever sans accident l'obélisque du Vatican de dessus son ancienne base, et pour le replacer sur sa nouvelle. Enfin le 8ème. et dernier chapitre indique les méthodes générales qu'on doit suivre pour poser les statues, et les opérations qui furent effectués pour le placement de quelques statues de grandes dimensions, et particulièrement pour celles qui décorent la balustrade du portique de la place de Saint-Pierre à Rome.

Tel est le précis des matières les plus importantes contenues dans ce Traité spécial, que l'Académie Royale des Sciences a bien voulu honorer de son approbation, d'après le rapport favorable fait par MM. *de Prony et Girard.* La munificence du gouvernement lui a en outre accordé les encouragemens réservés aux ouvrages d'une utilité constatée.

TABLE
DES MATIÈRES.

LIVRE TROISIÈME.

FIN DE LA TABLE.

RÉFLEXIONS GÉNÉRALES

SUR

LE CHOIX DES MOYENS A EMPLOYER

DANS LES DIVERS

MOUVEMENS DES FARDEAUX.

---

1. Tous les mouvemens qu'on imprime aux fardeaux peuvent être produits de plusieurs manières différentes; le choix des méthodes appropriées aux divers cas est aussi difficile qu'important. On pourrait prouver l'utilité d'un bon choix par la citation d'un grand nombre de faits; il nous suffira d'indiquer les trois suivans.

2. M. Rondelet rapporte dans son excellent ouvrage sur l'art de bâtir, que, lorsqu'on construisit l'église Sainte-Geneviève à Paris, il fallut transférer deux blocs de pierre qui pesaient 27 milliers de livres métriques chacun, et qui servirent à former les angles du fronton qui couvre le péristyle. Pour transporter un de ces blocs, depuis le port des Invalides jusqu'à Sainte-Geneviève, on a employé deux cabestans tournés, chacun par huit hommes, qui se relayaient de deux heures en deux heures. Il a fallu onze jours et sept nuits pour lui faire parcourir cette distance, qui était d'environ 5,200 mètres. Ce transport a coûté en journées d'homme, indépendamment des équipages et faux

frais, 768 livres. L'autre bloc a été amené du même endroit, et sur le même chariot, en moins de trois heures, par un voiturier. Il a fallu, pour ce transport, soixante-trois chevaux attelés trois à trois, et douze charretiers; et il n'a coûté que 425 livres.

3. Le transport du grand obélisque de la place de Saint-Pierre à Rome, effectué, sous le pontificat de Sixte V, par Dominique Fontana, coûta plus de deux cent mille francs; et, si l'on eût suivi la méthode que j'indiquerai (363), cette dépense n'aurait peut-être pas absorbé la somme de vingt mille francs.

4. En Angleterre, le transport des ardoises, que l'on retirait des carrières de lord Penrhyn, exigeait autrefois le service de cent quarante-quatre chariots et quatre cents chevaux: l'année 1801, le propriétaire fit établir un chemin de fer, au moyen duquel dix chevaux suffisent pour le même transport.

5. Plusieurs sources d'erreurs rendent le bon choix très-difficile; j'en distingue six principales, qu'il est essentiel de signaler, pour qu'on puisse les reconnaître et les éviter. La première dérive de l'appréciation des forces, sans avoir égard aux vitesses correspondantes. La seconde, de la confusion de l'effet statique avec le dynamique. La troisième se présente lorsqu'on néglige les résistances qui tendent à diminuer l'effet utile des machines. La quatrième, lorsqu'on juge d'une action, sans égard à sa durée. La cinquième, quand on ne calcule point les interruptions dépendantes ou du mécanisme ou des agens moteurs. La sixième, quand on n'examine pas s'ils sont placés de façon à pouvoir déployer des forces libres et concordantes.

6. Premièrement, on est sujet à se tromper, toutes les fois qu'ayant à déterminer la quantité d'action, ou l'effet total produit par un travail quelconque, on ne fait attention qu'à la force déployée dans cette action, et on néglige d'examiner la vitesse; il est évident qu'alors ce jugement est incomplet, et consé-

quemment fautif; car la quantité d'action dépend également de l'un et de l'autre de ces deux élémens. Il ne suffit pas de savoir combien de mètres cubes de terre un ouvrier a transportés à une distance déterminée, pour apprécier le degré de son activité, si l'on ne sait également combien de temps il a employé pour effectuer ce travail: de même on ne peut avoir une idée exacte de l'effet d'une machine, si l'on ne connaît l'effort qu'elle peut faire, et la vitesse de son action.

7. La confusion de l'*effet statique* avec l'*effet dynamique*, c'est-à-dire, de l'effet qui dépend de l'équilibre avec celui qui dépend du mouvement, est une des sources d'erreur les plus abondantes. C'est d'une telle source que naît cette supposition erronée, admise par des personnes qui ne connaissent pas les principes fondamentaux de la mécanique; que l'on puisse obtenir d'un faible moteur, autant d'ouvrage que d'un très-grand, agissant par lui-même: il est vrai qu'une petite masse peut en contre-balancer une supérieure, et même l'entraîner; mais il faut pour cela qu'il y ait entre elles une combinaison de parties intermédiaires qui ne leur permettent de se mouvoir que simultanément, et avec des différentes vitesses, dont le rapport sera déterminé par celui qu'il y a entre ces masses. L'état d'équilibre doit exister toutes les fois qu'il y a égalité entre le rapport des vitesses, et celui inverse des masses; l'état de mouvement dépend de leur inégalité. Dans l'état d'équilibre, la vitesse n'est que virtuelle, c'est-à-dire, les masses mobiles n'ont qu'une simple tendance à se mouvoir, mais avec des vitesses différentes; l'équilibre est donc le résultat de la disposition qu'a la plus petite d'acquérir une vitesse qui surpasse d'autant celle de l'autre que le poids de cette masse est plus fort que le sien. Dans l'évaluation statique, la simple virtualité de la vitesse dispense d'en tenir compte; et la même virtualité est la cause de l'égalité

d'effort entre deux forces inégales. L'effet dynamique ne peut en aucune manière nous donner un résultat aussi avantageux; car, si la petite force surpasse la grande, ce n'est qu'en diminuant la vitesse de celle-ci, diminution qui se fait effectivement sentir, en exigeant la prolongation de la durée du travail. Ainsi l'action d'une machine sera d'autant plus lente que la force motrice aura été diminuée; et le travail, opéré, pendant un temps déterminé, ne pourra jamais être plus grand (à circonstances égales) que celui que l'agent moteur aurait produit sans son secours. Une comparaison fort simple rendra cette vérité plus sensible : si, en érigeant un édifice, on emploie dix ouvriers au lieu de vingt ou de trente, on épargnera, sur la dépense journalière, la moitié ou les deux tiers ; mais cette épargne ne diminuera aucunement la dépense totale : il en est de même à l'égard des machines, quelle qu'en soit l'espèce, simple ou composée, de quelque manière qu'on s'y prenne; ce qu'on épargnera sur la force des agens moteurs, on le perdra sur la durée de l'action ; et, si on veut abréger cette durée, il faut nécessairement augmenter la force.

8. Non-seulement l'effet total ne peut être augmenté par les machines, mais il est certain, au contraire, qu'il en est diminué, et d'autant plus qu'elles sont compliquées. Dans toutes les agens moteurs doivent surmonter deux espèces de résistance : la première dépend de l'opération à effectuer; j'appelle *actives* celles de cette espèce : la seconde dérive des frottemens, des cahotages ou soubresauts, de l'obliquité des lignes de traction, et d'autres obstacles au mouvement ; je nomme *passives* ces résistances qui tendent à diminuer l'effet du travail. Il n'y a aucune machine qui puisse en être entièrement exempte ; mais elles n'y sont pas toutes sujettes à un même degré, et on devra toujours préférer celles où les résistances passives agis-

sent avec moins de vigueur, si cependant de très-fortes raisons ne s'y opposent. Un des buts les plus utiles à atteindre est sans doute celui de diminuer, autant qu'il est possible, les résistances passives que la complication engendre. Voilà pourquoi il faut rechercher la simplicité. Quelques personnes, au contraire, égarées par la fausse persuasion de produire un grand effet avec une petite force, épuisent leur imagination pour compliquer les machines; mais ils n'obtiennent, de leurs recherches laborieuses et souvent dispendieuses, d'autres résultats que la diminution de l'effet utile.

9. Il ne suffit pas de s'occuper en particulier d'une résistance passive, en perdant de vue les autres. Des hommes de beaucoup de mérite commirent cette faute, et entre autres *Claude Perrault*, savant traducteur de *Vitruve*, et architecte fameux de la colonnade du Louvre; lorsque, pour éviter les frottemens dans les grues ordinaires, il en inventa de nouvelles dont les axes, au lieu d'être placés dans des coussinets fixes ou sur des crapaudines, étaient environnés de cordes qui les faisaient tourner en se développant; de sorte qu'il substitua au frottement une résistance passive bien plus forte, dépendante de la roideur et de l'aspérité des cordes.

10. L'on ne peut apprécier convenablement une machine, si l'on néglige de faire attention à la durée de son travail, parce que, premièrement, les moteurs peuvent, sans inconvénient, déployer toute leur énergie, lorsque leur action ne doit être que momentanée : tandis que, dans le cas contraire, il faut qu'ils la modèrent, et qu'ils économisent leur force, pour qu'elle ne s'épuise pas avant que le travail soit terminé. Secondement, les moteurs animés ont certaines manières d'agir, dans lesquelles il font un effort bien supérieur à celui ordinaire; tel est, par exemple, celle d'un homme qui tire étant assis, et ayant les

pieds fortement appuyés contre un objet fixe. On a observé qu'il peut de cette manière produire un effort triple et même quadruple de celui qu'il fait en tirant debout; mais ces sortes d'actions ne sauraient durer long-temps, et ne sont praticables qu'aux travaux momentanés.

11. La durée de l'action influe aussi sur le choix des parties organiques des machines; lorsqu'elle doit être longue, les parties qui ont un mouvement circulaire méritent la préférence, parce que, dans cette espèce de mouvement, l'inertie, c'est-à-dire, cette disposition naturelle qu'ont tous les corps à conserver l'état de repos lorsqu'ils sont immobiles, et le mouvement quand ils se meuvent, n'est un obstacle qu'au commencement de l'action, et ensuite elle cesse de contrarier le moteur pour le favoriser en devenant la conservatrice et la régulatrice de sa force. Les volans que l'on adapte à plusieurs machines, pour en corriger les irrégularités, démontrent cet effet d'une manière très-sensible. Cette même inertie, utile au mouvement circulaire, n'est que nuisible aux mouvemens de va-et-vient, ainsi qu'aux rectilignes qui ont une courte durée.

12. Il faut calculer les interruptions, si l'on veut connaître exactement l'effet utile que peut produire une machine dans un temps déterminé. J'en distingue de deux espèces, 1°. dépendantes de la nature du travail; 2°. du mécanisme, ou de la manière d'agir des moteurs. Celles de la première ne peuvent ordinairement s'éviter; mais les autres peuvent être souvent supprimées, ou du moins considérablement diminuées, par le changement ou la modification du mécanisme.

13. Dans presque tous les travaux réguliers, où l'on se sert des hommes ou des chevaux pour mouvoir les machines, ils sont relayés à chaque heure; de sorte qu'il y a deux compagnies dont une travaille, tandis que l'autre se repose. Il est essentiel de

ne pas perdre de vue cette circonstance dans le calcul de l'effet des machines.

14. Il faut aussi examiner si les agens moteurs, en se servant des machines, peuvent exercer leur force toute entière, ou bien s'il y a des causes qui y forment obstacle. Toutes les fois que le mouvement est irrégulier, une portion de la force ne peut infailliblement coopérer à l'effet utile. Deux principales causes rendent les mouvemens irréguliers : la première dépend de la variabilité de la ligne de direction, sur laquelle la force opère, c'est-à-dire, du changement que cette même ligne éprouve pendant l'action ; par exemple, lorsqu'un homme fait tourner une manivelle, son bras, à chaque circonférence qu'il décrit, prend successivement une position perpendiculaire à la manivelle, ensuite une oblique, puis l'obliquité va toujours en augmentant jusqu'à ce qu'il se retrouve dans une position horizontale avec l'axe ; et il ne redevient perpendiculaire qu'après avoir repassé par tous les degrés d'obliquité : c'est une des causes qui contribuent à rendre le mécanisme des manivelles désavantageux quand il n'est pas régularisé par un volant. Le mouvement devient encore irrégulier quand les distances entre les points où agissent les forces, ceux où les résistances opèrent, et les points d'appui et de rotation deviennent variables.

15. Souvent aussi les moteurs sont gênés dans leurs actions, et ne peuvent agir avec toute leur force, parce que le local dans lequel ils doivent opérer n'a pas l'étendue convenable, ou ne leur permet pas de se placer avantageusement. Lorsqu'on applique un cheval à une machine, et que le manége n'a pas au moins treize mètres de diamètre, il ne peut pas déployer dans son travail toute l'énergie dont il est capable.

LIVRE PREMIER.

Des machines dont on fait usage pour mouvoir les fardeaux.

CHAPITRE PREMIER.

Des machines en général.

16. Pour n'être pas exposé à attribuer aux machines des propriétés chimériques qu'elles n'ont jamais eues et qu'elles ne peuvent avoir, ou pour ne pas méconnaître celles dont elles sont douées effectivement, il est utile d'en acquérir une idée exacte. Je crois que l'on peut renfermer leurs propriétés dans les quatre espèces suivantes. La première présente le précieux avantage de suppléer à la faiblesse de la force motrice que l'on a disponible, en lui donnant le moyen de diminuer l'énergie du travail, pourvu que l'on veuille bien compenser cette diminution par le prolongement de sa durée; elle présente aussi l'avantage contraire, c'est-à-dire, celui de pouvoir en abréger la longueur, en augmentant proportionnellement l'intensité de la force. La seconde espèce de propriété qu'ont les machines est d'aider les agens moteurs à éviter ou à surmonter les obstacles qui souvent, lorsqu'ils agissent sans intermèdes, les empêchent de déployer leur force toute entière, ou ne leur permettent de l'exercer que d'une manière pénible et désavantageuse. La troisième est de pouvoir par leur moyen substituer à l'action des hommes, non-seulement celle des animaux, mais aussi celle des moteurs inanimés, telle que l'action de l'eau courante, du flux et reflux,

des vapeurs de l'eau bouillante, du vent, des ressorts élastiques. La quatrième espèce fait sentir ses effets utiles lorsque, dans une action, la résistance étant fort inférieure à la force du moteur, une grande partie de cette force devient inactive; alors les machines réunissent plusieurs de ces petites résistances, pour les soumettre simultanément à la force du moteur, qui devient ainsi entièrement opérative. Voilà le cas où un homme peut effectuer véritablement le même travail que plusieurs autres, sans y employer un temps plus long; mais il faut bien se ressouvenir que ce cas ne peut avoir lieu que si la force du moteur n'agit pas toute entière, ou à cause des obstacles qui l'empêchent de se déployer complétement, ou parce qu'elle opère sur une faible résistance qui n'absorbe qu'une portion de cette force; et se garder de croire que ce même cas puisse jamais se réaliser si la résistance est égale ou supérieure à la force totale et active du moteur.

17. On obtient l'avantage ci-dessus énoncé, de pouvoir diminuer l'énergie de la force motrice, en établissant entre la puissance motrice et la résistance une ou plusieurs parties intermédiaires qui obligent la première à parcourir un espace plus grand que celui qui doit être en même temps parcouru par l'autre.

18. Le moyen le plus simple d'obtenir ce résultat, et probablement le premier qu'on ait imaginé, est celui d'une barre appuyée sur un point fixe qui lui laisse la faculté de se mouvoir. Il est clair que, si ce point ne se trouve pas au milieu, l'extrémité la plus éloignée devra parcourir un espace plus long que celui qui sera en même temps parcouru par l'autre extrémité. La différence des espaces sera d'autant plus grande, que le point d'appui s'éloignera davantage du milieu de cette barre, que l'on a appelée levier.

19. On a reconnu que le simple levier ne produit pas des mouvemens continus, et qu'il ne peut faire parcourir à la résistance des espaces un peu considérables qu'en interrompant et recommençant plusieurs fois l'action; ce qui, dans quelques circonstances, prolongerait considérablemeut la durée du temps. Pour suppléer à cet inconvénient, et obtenir un mouvement continu, on a dû transformer le mouvement alternatif du levier en mouvement circulaire, qui est le seul qui ait la propriété d'être continu. Conséquemment on a inséré un ou plusieurs leviers dans un axe dont les extrémités arrondies sont soutenues par des appuis concaves qui lui laissent la faculté de tourner. Si l'axe, armé de leviers, est horizontal, on lui donne ordinairement le nom de *virevau* ou de *moulinet;* et, s'il est vertical, on le nomme *cabestau* ou *vindas*.

20. Lorsque les leviers, insérés dans un treuil horizontal, ont une longueur considérable, il faut augmenter leur nombre pour que les mains des hommes moteurs puissent facilement les empoigner l'un après l'autre. L'insertion de ces leviers dans un treuil exige des entailles qui l'affaiblissent beaucoup. Pour remédier à ce défaut, on a imaginé d'y adapter des roues armées de chevilles; ces roues sont placées perpendiculairement à la longueur des treuils, et ont le même centre. Ainsi le moulinet, le cabestan, la roue à chevilles, et autres machines analogues, ne sont que des modifications du simple levier.

21. On observa ensuite que si, ayant une corde et deux rouleaux, l'un suspendu à un point fixe, l'autre mobile, et si, après avoir attaché un bout de la corde au rouleau fixe, on la fait passer au-dessous de l'autre rouleau, monter sur le premier, descendre et repasser sous l'autre, pour remonter et redescendre de la même manière plusieurs fois, et, après avoir disposé ainsi la corde, on tire le bout qui est libre, on fera monter le

rouleau, mais seulement d'une quantité égale à la longueur de la corde, qu'en tirant l'on a fait passer, divisée par le nombre de fois que la même corde monte, et qu'elle descend d'un rouleau à l'autre; de sorte que, si elle monte deux fois, et redescend également deux fois, la hauteur à laquelle le rouleau mobile s'élèvera, sera le quart de la longueur de la corde qui est passée.

22. Une corde ployée sur les rouleaux comme nous venons d'indiquer, est sujette à des frottemens très-considérables, produits par les contacts trop rapprochés des parties de corde qui montent et qui descendent. Voilà pourquoi on a substitué des poulies aux rouleaux, et on a inventé les moufles; c'est ainsi que l'on appelle les poulies insérées l'une à côté de l'autre, dans des chapes de bois et de fer, et sur lesquelles on fait passer des cordes, comme sur les rouleaux, que nous avons décrits.

23. Il n'y a qu'un petit nombre d'années que l'on connaît en Europe le moyen suivant, aussi ingénieux que simple, de faire parcourir à la puissance motrice un espace bien plus long que celui qui, en même temps est parcouru par la résistance. Ce moyen était, dit-on, depuis long-temps connu et pratiqué à la Chine (voy. la fig. 2, pl. III, qui représente cette machine). Que l'on suppose la réunion de deux parties cylindriques concentriques sur le même axe, mais dont les diamètres soient différens; que l'on suppose aussi qu'une corde fasse plusieurs tours sur la partie dont le diamètre est moindre; qu'elle passe ensuite dans la gorge d'une poulie mobile, d'où elle remonte pour entourer, en sens contraire, la partie cylindrique la plus grosse; on comprend aisément que la machine ne peut tourner sans que la corde ne s'enveloppe d'un côté, et ne se déroule simultanément de l'autre, de sorte que, si les deux parties cylindriques avaient une grosseur égale, la poulie ne pourrait

jamais remonter; mais à cause de l'inégalité elle remonte, tandis que le cylindre décrit un tour entier, d'une quantité égale à la moitié de la différence qu'il y a entre les deux circonférences, ou bien entre les diamètres des deux parties.

24. Quand on marche sur un plan incliné, le chemin parcouru surpasse la hauteur verticale de ce plan, dont la section est représentée par un triangle rectangle, d'autant que la longueur de l'hypothénuse est supérieure à celle du côté perpendiculaire à la base. Le coin qui sert pour séparer les parties fortement adhérentes se rapporte au plan incliné. La vis est aussi un plan incliné, disposé autour d'un cylindre, et l'écrou qui monte le long de ce plan, ne peut s'élever, à chaque tour complet, que d'une quantité égale à la distance qu'il y a entre un filet de la vis et celui qui est immédiatement au-dessus, distance indiquée par la hauteur du plan incliné correspondant à un tour de la vis.

25. Les méthodes élémentaires indiquées sont les seules qui servent à opérer les divers mouvemens des fardeaux; toutes les autres n'en sont que des modifications, ou des combinaisons plus ou moins compliquées.

26. La théorie statique de ces machines est très-peu éloignée du degré de perfection auquel elle peut aspirer; car le but de ses recherches est simple, et les élémens de ses calculs sont exacts et peu nombreux; lorsqu'elle a déterminé le rapport des espaces que la force motrice et la résistance tendent à parcourir en même temps, elle a aussi déterminé celui qu'il doit y avoir entre ces deux forces, pour que l'équilibre puisse subsister. Ainsi, ses opérations sont entièrement appuyées sur la géométrie, et sur le calcul, et participent de l'exactitude et de l'infaillibilité des mathématiques abstraites. Il n'en est pas ainsi de leur théorie dynamique; aussitôt que l'on passe de l'état d'équilibre à celui de mouvement, les élémens dont on a besoin, pour calculer exac-

tement la quantité d'effet que les machines doivent produire, se multiplient et se compliquent, deviennent vagues et incertains; de sorte que très-souvent ils ne se laissent connaître et déterminer qu'après des observations longues, pénibles et réitérées. La géométrie et le calcul ne peuvent rendre un service utile dans les recherches dynamiques, que lorsqu'on est parvenu à connaître et à déterminer par de bonnes observations, ou des expériences faites judicieusement, les élémens qui doivent leur servir de base. Si, n'ayant pas une connaissance précise de ces élémens, on veut y suppléer, comme ont tâché de le faire plusieurs mathématiciens par des hypothèses plus ou moins probables, mais toujours douteuses, on n'obtiendra, après avoir surmonté les difficultés d'un calcul épineux, qu'un résultat qui, quoique revêtu des formes qui appartiennent à la science de la vérité, sera plus propre à égarer qu'à instruire.

27. Parmi les questions de dynamique, il n'y en a aucune qui soit plus intéressante que celle qui a pour but de déterminer la vitesse de la partie d'une machine sur laquelle l'agent moteur agit immédiatement pour obtenir le *maximum* d'effet. Quel que soit le moteur que l'on veuille appliquer à une machine, il est certain qu'il ne peut lui communiquer qu'une portion de sa vitesse ; le plus haut degré de cette vitesse est celui qui absorbe sa force toute entière; le moindre degré est celui qui précède immédiatement l'état de repos. Entre ces deux degrés, il y en a une infinité d'autres qui absorbent plus ou moins de force, et parmi eux il y en a un qui combine tellement la force avec la vitesse, que l'effet qui en résulte est le *maximum*, c'est-à-dire, le plus grand de tous: c'est ce degré intermédiaire qu'il est si important de déterminer. De nombreuses expériences faites sur les moteurs inanimés, par des savans d'une exactitude reconnue, tels que *Zendrini*, *Bossut*, *Smeaton*, et plusieurs autres, nous ont appris que,

pour avoir le *maximum*, il faut que la vitesse communiquée par le moteur à la partie de la machine sur laquelle il agit immédiatement, soit un peu moindre que la moitié de sa plus grande vitesse; c'est-à-dire, de celle qui absorbe toute sa force. Ainsi, s'il s'agissait d'un moulin mu par l'eau courante, il faudrait, pour avoir l'effet *maximum*, que la roue à aube, qui est la partie sur laquelle le moteur opère, fût mue avec la moitié de la vitesse du courant d'eau à peu près. De même pour un moulin à vent, il faudrait que le centre d'impulsion des ailes du volant eût une vitesse égale à la moitié de celle du vent.

28. Il paraît que, pour les moteurs animés, le rapport qu'il doit y avoir entre la vitesse qui donne l'effet *maximum*, et celle qui absorbe toute la force, est le même que celui que nous avons dit avoir lieu pour les moteurs inanimés. C'est une chose généralement connue, que, si un homme doit marcher pendant un temps considérable sans porter aucun fardeau, et sans exercer aucune autre action que celle de transférer son propre corps, la vitesse qui donne le *maximum* d'effet, c'est-à-dire, celle qui, étant combinée avec la durée de l'action, donne le plus grand résultat, est d'un peu plus de quatre pieds 1$^{\text{mèt.}}$, 3 pour chaque seconde, ce qui correspond à la vitesse d'une lieue de 2,500 toises par heure. Or cette vitesse est à peu près la moitié de celle d'un homme qui court, vitesse qui absorbe dans un temps très-court toute la force de l'homme, et l'oblige de s'arrêter. On observe généralement que les porte-faix, qui doivent porter de lourds fardeaux à une distance considérable, et qui sont habitués à ce genre de travail, marchent ordinairement avec la vitesse de deux pieds ou 1$^{\text{mèt.}}$, 15 par seconde, qui est la moitié de celle de l'homme qui marche sans fardeau. On observe aussi que cette même vitesse de deux pieds par seconde est celle que les ouvriers qui tirent un chariot, ou qui poussent

une brouette chargée, préfèrent, et je crois que c'est également celle qui convient le mieux aux hommes qu'on emploie comme moteurs de machine, si toutefois leur action doit durer long-temps.

29. La plupart des machines sont composées de diverses parties, qui servent aux usages suivans. 1°. Pour recevoir l'action des moteurs; 2°. transmettre cette action à des distances plus ou moins rapprochées; 3°. transformer l'un dans l'autre les quatre espèces élémentaires de mouvement, c'est-à-dire, le mouvement rectiligne continu, le circulaire continu, l'alternatif rectiligne, et l'alternatif circulaire; 4°. changer les directions des mouvemens; 5°. modifier les deux principes qui constituent le mouvement, force et vitesse, diminuant l'une par le moyen de l'augmentation de l'autre; 6°. régulariser les mouvemens dont la variabilité nuit à l'effet utile; 7°. détruire ou affaiblir la force des résistances passives; 8°. effectuer enfin l'opération pour laquelle chaque machine a été construite. Il y a quelques machines où une simple partie remplit à la fois plusieurs de ces fonctions; mais il y en a un plus grand nombre dans lesquelles une seule de ces fonctions ne peut s'effectuer qu'avec des moyens compliqués.

30. Les moyens inventés pour remplir chacune des huit fonctions indiquées étant très-nombreux, une classification méthodique devenait nécessaire pour qu'on pût facilement en acquérir la connaissance, les comparer, et en conserver dans la mémoire des idées distinctes. Cette classification est amplement développée dans le traité de la composition des machines, qui fait partie de cet ouvrage.

31. Vitruve, dans son dixième livre, où il traite des machines, établit une distinction très-convenable entre les organes, et les machines. Il donne le nom *d'organes* aux instrumens

simples qui font leur effet par le moyen d'un seul homme, au lieu que les machines ne font le leur qu'avec plus d'appareil, et ont besoin de la force de plusieurs hommes. Mais la distinction qu'il établit des machines en trois genres, n'est en aucune manière admissible. Dans le premier genre il place les échafaudages, et les échelles pour monter à des lieux élevés ; dans le second, les instrumens ou les machines qui opèrent par l'action de l'air ; dans le troisième, les machines dont on se sert pour tirer les grands fardeaux. Le nom de machine n'appartient qu'aux réunions d'organes faites pour recevoir et communiquer le mouvement, et non pas à des échafaudages, ni même à certaines combinaisons de charpente, qui ne servent qu'à supporter les parties mouvantes, ou bien à diriger leurs actions vers des points déterminés. Ainsi, je placerai les grues, les engins et les chèvres, non pas parmi les *machines*, mais parmi les combinaisons de charpente : le nom *machine* porte avec lui l'idée du mouvement. Ce serait donc altérer sa signification que de l'appliquer indistinctement à des assemblages de parties qui ne sont pas faites pour se mouvoir.

CHAPITRE II.

Des Cordes.

32. Si l'usage habituel des choses les plus utiles et les plus belles, au lieu d'augmenter notre admiration à leur égard, ne produisait ordinairement un effet tout opposé, nous regarderions les cordes comme une invention des plus estimables que le génie de l'homme ait produites. N'est-ce pas effectivement un chef-d'œuvre de l'industrie d'avoir su combiner, avec une grande flexibilité et avec une longueur indéterminée, une force capable de soutenir les plus lourds fardeaux ? N'est-il pas admirable que la simple réunion des filamens d'une plante très-faible produise de si grands effets ? Les procédés avec lesquels on réunit d'une manière solide cette multitude de filamens sont aussi ingénieux que simples ; jetons sur eux un coup d'œil rapide.

33. Quoiqu'on connaisse plusieurs matières animales et végétales qui pourraient former des cordes, on n'emploie en Europe que le chanvre presque exclusivement. Pour pouvoir détacher les filamens qui forment l'écorce des tiges du chanvre, on les laisse séjourner pendant quelque temps dans des fosses pleines d'eau croupissante. Lorsqu'on a séparé ces filamens de la partie ligneuse, on les frappe, perpendiculairement à leur longueur, avec un instrument de bois appelé *espadon ;* ensuite on les fait passer et repasser successivement entre les dents de plusieurs peignes plus fins et plus serrés les uns que les autres ; puis on en forme des fils, dont le diamètre varie d'une demi-ligne jusqu'à deux et demie. C'est par l'union de ces fils qu'on

fait les cordes, depuis la ficelle, qui ne contient que deux fils, jusqu'au câble des grosses ancres qui en contient plus de deux mille cinq cents. En termes de l'art, réunir les fils pour en faire des cordes, se dit *commettre* une corde. Cette opération s'effectue de la manière suivante : 1°. on étend autant de fils l'un à côté de l'autre que la corde en doit contenir ; 2°. on les sépare en trois ou quatre faisceaux, qu'on désigne par le nom de *tourons*, composés chacun d'un égal nombre de fils ; 3°. on tord séparément ces trois ou quatre tourons ; 4°. quand le fabricant juge qu'ils ont le degré de torsion qu'il leur faut, il les réunit ensemble à un de leur bout, les laissant séparés à l'autre bout. Les tourons, par le moyen de la torsion, ont acquis une force élastique qui cherche continuellement à les développer et à leur faire reprendre leur premier état ; il est évident qu'aussitôt qu'ils sont libres, ils obéissent à cette force ; mais comme dans notre cas les tourons ne sont séparés qu'à une de leur extrémité, et se trouvent toujours réunis à l'autre, l'élasticité ne pourra produire d'autre effet que de les faire envelopper l'un sur l'autre, qui est précisément celui qu'on recherche. L'élasticité que les tourons acquerreront, et conséquemment la disposition à se *commettre*, c'est-à-dire à se corder ou à s'envelopper les uns sur les autres, augmentera d'autant plus, que la torsion qu'ils auront éprouvée aura été plus forte. En commettant une corde, elle doit nécessairement se raccourcir. Ce raccourcissement est ordinairement d'un tiers ; mais les expériences de *Duhamel* lui ont fait connaître qu'il était plus avantageux de ne tordre les tourons que jusqu'au raccourcissement d'un quart et même d'un cinquième, parce qu'une torsion trop forte diminue en même temps la force et la flexibilité des cordes ; d'un autre côté, si la torsion est trop faible, les cordes se relâchent, se séparent facilement, et ont une surface trop scabreuse.

34. Il y a deux espèces de cordes : les simples, que l'on appelle *aussières*, et les composées, nommées, *grelins*, qui sont formées de cordes simples ou aussières, au lieu de tourons. On distingue les aussières par le nombre des tourons dont elles sont formées ; ainsi il y a des aussières composées depuis trois tourons jusqu'à six ; celles de cinq et de six sont très-rares ; celles de trois sont les plus faciles à fabriquer ; celles de quatre ont l'inconvénient de laisser un vide au centre, qu'on remplit avec un certain nombre de fils, qui augmentent le poids et la grosseur de la corde sans contribuer à sa force. Cependant l'usage a démontré qu'elles sont plus fortes que celles à trois. Les expériences faites par *Duhamel* prouvent que les grelins sont beaucoup plus forts que les aussières, et ils ont d'ailleurs la propriété de ne se désunir qu'avec une très-grande difficulté. Si quelque fil se rompt, le fil brisé se trouve resserré de telle manière par les cordons qui passent au-dessus, qu'il ne peut se séparer des autres, et il n'y a que ce seul endroit du grelin qui soit affaibli ; le reste n'a rien perdu de sa force. Ainsi on pourra en faire usage avec sûreté, en coupant la partie gâtée, dans le cas qu'on craignît que la corde dans cet endroit ne pût résister aux efforts qu'elle éprouvera ; mais les grelins sont moins flexibles que les aussières et la façon en est un peu plus coûteuse.

35. Les personnes qui désirent avoir des connaissances plus étendues sur tout ce qui concerne la fabrique des cordes, doivent lire l'excellent *Traité de la fabrique des manœuvres pour les vaisseaux*, ou *l'Art de la corderie perfectionné*, par *Duhamel*; ils pourront lire aussi le livre de *Muschenbroeck*, *Introductio ad coherentiam corporum firmorum*, et les recherches de *Réaumur*, insérées dans les *Mémoires* de l'Académie des sciences.

36. Il semble, au premier abord, que la force des cordes doive

être proportionnelle au nombre des fils dont elles sont composées : de sorte qu'une corde qui a un double nombre de fils qu'une autre, aura aussi une double force. *Duhamel* consulta l'expérience ; voici les résultats qu'il en a obtenus :

Nombre des fils des cordes soumises à l'expérience.	Résistances. Livres.	Onces.
6	706	4
9	1075	0
12	1512	8
18	2451	4
24	3325	0
30	4077	0

Ces expériences prouvent que la force des cordes augmente suivant une proportion supérieure à celle du nombre des fils.

Duhamel examina ensuite si la force des cordes était proportionnelle au poids.

Poids des cordes. Onces.	Gros.	Résistances. Livres.	Onces.
9	0	706	4
13	0	1075	0
17	0	1512	8
21	0	2105	0
26	2	2451	4
7	7	643	0
12	0	1058	0
17	6	1564	0
20	0	1861	4
31	0	2856	0
36	0	3325	0
39	0	3583	0
42	0	4077	0

Ces expériences, ainsi que les précédentes, furent exécutées sur des cordes fabriquées avec la même méthode, et avec le

même fil. On observe que la résistance n'augmente pas comme les poids, mais dans une proportion plus forte, et que la différence des résultats des expériences d'avec ceux qu'on aurait, si les forces suivaient le rapport des poids, est d'autant plus forte, que la différence entre ces poids est plus grande.

Il restait à examiner si la force des cordes est proportionnelle au carré de leurs circonférences. *Duhamel* dit avoir comparé la force d'une corde de 11 lignes de circonférence avec celle d'autres cordes de 14, 16, 21; il ne donne pas le détail de ces expériences, et il dit que les résultats s'éloignaient fort peu de cette proportion, et que c'était quelquefois en plus et quelquefois en moins; ce qui lui fit penser qu'au moyen de cette méthode, on pourrait juger avec une exactitude suffisante la force des différentes cordes, si elles sont fabriquées suivant les mêmes principes, et avec une qualité de chanvre à peu près semblable.

37. *Bouguer* a indiqué la règle-pratique suivante, qui est très-commode, pour connaître à peu près la force des cordes. Le poids qu'une corde peut soutenir sans danger de se rompre, est indiqué par autant de fois mille livres qu'il y a d'unités dans la moitié du carré de sa circonférence en pouces. Par exemple, pour une corde de dix pouces de circonférence, la moitié du carré étant 50, elle pourra soutenir 50,000 livres. Cette règle est déduite: 1°. de l'expérience, qui a indiqué qu'une corde qui a deux pouces de circonférence soutient deux milliers sans danger de se rompre; 2°. de la supposition que la force des cordes suive la proportion des carrés de leurs circonférences.

38. *Bouguer* a indiqué une autre méthode très-simple d'évaluer le poids d'une corde dont les dimensions sont connues. Le poids d'une corde, a-t-il dit, qui a cinq pieds de longueur, peut être évalué approximativement par un cinquième

du carré de sa circonférence en pouces; de sorte qu'une corde decinq pouces de circonférence, et de cent pieds de longueur, pèse cent livres.

39. Les cordes, lorsqu'elles sont mouillées, s'affaiblissent considérablement. Les expériences de *Duhamel* prouvent que les cordes mouillées perdent presque un tiers de leur force, ou au moins plus d'un quart. Les cordes goudronnées ont aussi une force moindre que celles qui ne le sont pas.

40. Quelques physiciens proposèrent de tanner les cordes, pour les préserver des mauvais effets de l'humidité, surtout lorsqu'elles sont amoncelées. En Angleterre, M. *Roxburt* a fait quelques expériences, dont les résultats indiquent que le tannage fortifie les cordes.

41. Il est très-important, lorsqu'on doit mouvoir de grands fardeaux, de se servir des cordes avec intelligence et avec adresse; on se préserve ainsi des dangers, on s'exempte d'inutiles fatigues, et on se délivre de dépenses superflues. Mais on ne peut bien s'en servir, si l'on ne sait comment on doit les préparer et les disposer aux usages auxquels elles doivent servir. Les principales opérations qu'il est nécessaire de connaître sont les suivantes: 1°. Comment on doit les *enter* ou en former une seule de plusieurs; 2°. comment on en prépare les bouts; 3°. comment on fait les différentes espèces de nœuds; 4°. comment on forme les *ligatures* ou *amarrages?*

42. *Enter* les cordes, ou les *épisser*, c'est les réunir sans faire de nœuds. On *ente* les cordes, non-seulement pour assembler plusieurs morceaux de cordes et en faire une seule, mais aussi pour réunir les extrémités d'une même corde, et en faire une corde sans fin, et pour insérer une des extrémités dans un lieu quelconque de la corde, afin d'en former un œil.

Il y a trois espèces d'épissures : la première s'appelle *longue ;* la seconde, *carrée ;* la troisième, à *double cul-de-porc.*

43. L'épissure longue est très-utile pour unir les cordes qui doivent passer sur les poulies, sans qu'il y ait des aspérités ou des grosseurs qui les arrêtent lorsqu'elles sont en travail. (Voy. figure 2, planche II). On effectue cette épissure en plaçant les deux extrémités qui doivent être réunies à côté, parallèlement l'une de l'autre, sur une longueur égale à celle que l'on veut donner à l'épissure, comme, par exemple, depuis I jusqu'à M; on développe d'un côté un des tourons, qu'on replie sur l'autre partie de la corde, tandis qu'on développe les tourons correspondans de cette autre partie. On les noue ensemble, comme on le voit en L; ensuite on les insinue dans l'intérieur de la corde, et on les enlace comme en K; puis on les serre, et on coupe les parties des tourons qui sortent de la corde. Lorsqu'on a fini cette opération à l'égard du touron I, on la répète sur chacun des autres K, L, M. Dans cette espèce d'épissure, on coupe la moitié des tourons des deux cordes; ainsi la corde n'augmente pas de grosseur. Dans la seconde espèce, on ne coupe aucune partie des tourons. On développe tous les tourons des deux extrémités qu'on doit réunir; on entremêle les uns avec les autres, et on les rapproche jusqu'à ce que les parties de la corde qui ne sont pas développées se touchent (Voyez la figure 16 de la planche II). Ensuite, au moyen d'un instrument N, fait en forme de corne, on introduit les tourons d'une des cordes dans l'autre, et ceux de la seconde dans la première; on les fait passer et repasser, et on les enlace dans l'intérieur des cordes même. Cette espèce d'épissure rend la grosseur de la corde entée, dans le lieu de la réunion, double de l'ordinaire. La troisième espèce d'épissure est très-forte; mais elle a l'inconvénient d'augmenter encore plus la grosseur (Voyez les

figures 16 et 17 de la planche II). Ayant séparé de chaque côté les tourons sur une certaine longueur, on approche les deux extrémités en plaçant ceux d'une corde entre ceux de l'autre : alors on fait avec les trois premiers tourons un bourlet O ; on fait la même chose avec les trois autres, et ces deux bourlets, entrelacés ensemble, ne permettent plus aux deux extrémités des cordes de se séparer. On rend encore plus forte cette épissure, en allongeant au-delà des bourlets les tourons, et les recouvrant avec une ficelle qu'on enveloppe dessus.

44. On prépare ordinairement les bouts des cordes de deux manières différentes : la première s'emploie pour les cordes qui doivent passer dans les moufles, afin qu'elles y passent avec facilité et sans se dégrade. Cette opération, représentée en AA', fig. 2, planche II), s'exécute en liant d'abord avec une ficelle la corde à un pied à peu près de distance de ses extrémités ; on défait les tourons jusqu'à la ligature ; ensuite on renverse sur la corde les fils extérieurs, et on coupe les intérieurs, de manière qu'ils forment une pointe ; puis on rabat les extérieurs pour les lier alternativement. On renverse encore vers le haut les fils qui ont été liés, pour pouvoir à leur tour lier ceux qui ne l'ont pas été, et, continuant de cette manière, on fait des pointes durables aux cordes. La seconde manière s'appelle *cul-de-porc simple* (elle est représentée en *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, fig. 8,) et sert pour former, à l'extrémité des cordes, un bouton ou bourlet, afin de l'arrêter, ou de la réunir fortement avec d'autres objets pour l'empêcher de s'échapper en glissant. On sépare les tourons, on les enlace, comme on voit, en *a*, *b*, puis on resserre plus étroitement ces enlacemens, en faisant repasser chaque touron au-dessus du bourlet, de manière que les tourons sortent tous du centre, et là on les lie ensemble avec de la ficelle. Quelquefois on les enlace de nouveau au-dessus du bourlet

même. On forme de semblables *culs-de-porc* à l'extrémité des *estropes* des poulies, dont on fait usage dans la marine.

45. On appelle *nœud* l'enlacement de deux cordes ou des extrémités d'une seule, fait de manière que les parties soient réunies comme si elles n'en formaient qu'une seule. Les nœuds servent à plusieurs usages : 1°. pour réunir deux ou un plus grand nombre de cordes; 2°. pour réunir les extrémités d'une même corde; 3°. pour attacher une des extrémités ou le milieu d'une corde à un autre objet; 4°. pour lier les fardeaux qu'on doit tirer ou soulever; 5°. pour raccourcir la longueur d'une corde sans la couper. Les fig. 1, 3, 5, 13, 15, planche II, et la fig. 13 (planche I), représentent différentes manières de réunir deux cordes : celle, figure 3, est utile quand on veut à une corde en attacher plusieurs autres, pour pouvoir tirer simultanément avec plusieurs bouts. Les fig. 6, 7, 10 (planche I) représentent des nœuds qui servent simplement pour réunir les deux extrémités d'une même corde. Les nœuds des figures 1, 3, 4, 5, 6, 11, 12, planche I et 13, planche II, servent à serrer fortement les objets liés avec des cordes, et à finir les *amarrages*. Les nœuds *a*, *b* (figure 4, planche II) servent pour attacher l'extrémité d'une corde à un anneau, ou à un autre objet fixe; les nœuds des figures 7, 10, 11, 14, pl. II, et de la figure 8, pl. I, pour amarrer ou lier les fardeaux que l'on veut soulever ou tirer. On appelle *nœuds coulans* ceux qui sont faits de manière que le poids, et l'effort que l'on fait en tirant le bout libre de la corde, les serrent de plus en plus ; les nœuds 10, 11 (pl. II) sont de cette espèce. Les enlacemens 6, 9 servent à raccourcir les cordes sans être obligé de les couper. La figure 2, pl. I, démontre les diverses espèces d'*amarrages*. L'amarrage Q s'appelle *amarrage à ceinture*, R *à cloche*, S *à ceinture double*, T *à chaînette*.

46. Le meilleur moyen pour acquérir des idées claires de toutes ces espèces de préparations, nœuds et enlacemens que nous avons indiqués, c'est de s'exercer à les répéter avec de petites cordes.

CHAPITRE III.

Du Levier.

47. Le levier est un corps solide, d'une forme et d'une matière quelconques, dans lequel il doit y avoir nécessairement : 1°. un point d'appui ou de suspension; 2°. un point où la puissance motrice puisse être appliquée, et 3°. un point où la résistance exerce sa force. Cette définition ne circonscrit point l'idée du levier à une barre de bois ou à une verge métallique; mais elle l'étend à tous les corps mobiles, dans lesquels se trouvent les trois points indiqués, parce que l'essence du levier ne réside pas dans sa *configuration*, mais dans ses trois points. Comme ils peuvent être disposés de trois manières différentes, on distingue trois espèces de leviers. On appelle *leviers* de première espèce ceux qui ont leur point d'appui entre la puissance motrice et la puissance résistante; les leviers que l'on nomme de seconde espèce ont leur point d'appui et la puissance motrice aux deux extrémités, et la résistance entre les deux; dans ceux de troisième espèce, la puissance motrice occupe une place intermédiaire entre le point d'appui et la résistance. Tous les leviers de première et la plupart de ceux de seconde espèce, ont leur point d'appui et la puissance motrice aux deux extrémités, et la résistance entre les deux; dans ceux de troisième espèce, la puissance motrice occupe une place intermédiaire entre le point d'appui et la résistance. Tous les leviers de première et

la plupart de ceux de seconde espèce font parcourir à la puissance motrice un espace plus grand que celui que peut en même temps parcourir la résistance; ainsi, par leur moyen, une petite puissance est capable de contre-balancer et de mouvoir une grande résistance. Ceux de troisième espèce et quelques-uns de la seconde obligent la résistance à suivre le plus long chemin, et veulent conséquemment une force plus grande que la résistance pour établir entre elles l'équilibre, ou pour faire prévaloir la force motrice. La propriété qu'ont les leviers de première et seconde espèce, est d'une grande utilité dans plusieurs circonstances. Beaucoup de personnes s'en font cependant une idée trop exagérée, tandis qu'ils ne savent pas assez apprécier l'utilité de la propriété contraire qu'ont les autres leviers. Il est indubitable que, sans la première, les hommes ne seraient jamais parvenus à mouvoir ces lourdes masses qui paraissent si disproportionnées avec leur propre force physique, et n'auraient pu ériger ces édifices colossaux qui, à cause de l'énormité des blocs qui les composent, ont été attribués par le vulgaire aux géans, aux cyclopes et aux êtres infernaux; mais, sans la seconde, on n'aurait pu donner à certaines parties mouvantes le degré de vitesse qu'elles demandent pour effectuer, avec célérité et perfection, plusieurs opérations très-utiles à la société, telles que de moudre, aiguiser, concasser et autres semblables; sans elle, on n'aurait jamais pu régulariser les mouvemens variables et défectueux des grandes machines; sans elle enfin on aurait été privé d'un moyen très-simple de produire, par la percussion réitérée et fréquente, des effets qui auraient demandé des masses énormes. Je crois utile de donner ici un développement un peu plus étendu des effets de cette seconde propriété.

48. L'expérience a démontré que les parties opératrices de plusieurs machines, c'est-à-dire, les parties qui exécutent les

opérations pour lesquelles ces mêmes machines ont été construites, doivent avoir un degré de vitesse déterminé, et que si elles ont un mouvement plus lent, la quantité du travail productif diminue considérablement, et très-souvent aussi la quantité se dégrade; or ce degré de vitesse n'est ordinairement pas celui du moteur, qui est bien moindre: il est donc indispensable alors de donner aux parties opératrices, dans lesquelles réside la résistance, une vitesse plus grande que celle avec laquelle les moteurs agissent. On a reconnu, par exemple, que dans les diverses sortes de moulins il faut que la meule tournante fasse soixante ou soixante-dix révolutions dans une minute, pour produire la meilleure et la plus abondante mouture: or cette vitesse de la meule est cinq ou six fois plus forte que celle qu'ordinairement le vent imprime au volant, ou que le courant d'eau communique à la *roue à aubes;* il a donc fallu remédier à la lenteur du moteur, en augmentant son intensité, pour qu'il fût en état d'exciter dans la meule une vitesse plus grande que la sienne.

49. Les régulateurs des grandes machines, que l'on nomme *volans*, ne sont essentiellement autre chose que des masses que l'on fait tourner rapidement, en conservant toujours une communication intime avec les autres parties mouvantes de la machine à laquelle ils sont adaptés. Ces volans remplissent d'autant mieux leurs fonctions, qu'ils ont une vitesse plus considérable; car ils opèrent en absorbant une portion de la quantité de mouvement de la machine, lorsqu'elle agit avec trop d'énergie pour la lui rendre lorsque son action devient trop faible: or c'est l'inertie, ou la disposition naturelle qu'ils ont à conserver leur mouvement, et à lutter contre les obstacles qui veulent ou le détruire ou l'altérer, qui leur donne la faculté de produire cet effet; mais, pour que l'inertie agisse vigoureusement, il faut qu'ils aient une quantité de mouvement considérable,

et ils ne peuvent l'avoir que de deux manières, ou en acquérant une grande masse, ou beaucoup de vitesse : il est facile de prouver que la grandeur de la masse entraîne avec elle une foule de très-graves inconvéniens ; c'est donc par le moyen de la vitesse que l'on obtient, avec plus de facilité et d'avantage, la quantité de mouvement nécessaire aux volans, pour qu'ils puissent devenir bons régulateurs.

50. Je regarde généralement tous les marteaux, quelle qu'en soit l'espèce, depuis le plus petit jusqu'au plus pesant martinet des grosses forges, comme de simples leviers de seconde et de troisième espèce, mais toujours de ceux où la résistance parcourt le plus long chemin ; et j'attribue de même la qualité de simples leviers aux bâtons, aux massues et autres instrumens qui servent à frapper, quelle que soit leur figure. La simple inspection prouve sensiblement la justesse de cette application à toutes les espèces de marteaux, qui tournent autour d'un axe par lequel ils sont soutenus, tels que les martinets des forges, et les maillets qui foulent les étoffes de drap ; car les trois points qui caractérisent essentiellement les leviers s'y présentent d'une manière trop sensible pour être méconnus ; mais elle a besoin d'être expliquée à l'égard de ceux qui ne sont soutenus et mis en mouvement que par les bras des hommes. Si un homme empoigne un petit marteau pour frapper sur un clou, le centre de rotation du marteau, qui tient lieu de point d'appui, se trouve dans le poignet de la main qui tient le marteau ; lorsqu'il bat et réitère ses coups, la puissance motrice est placée où travaillent les muscles qui agissent dans cette action ; la partie opératrice, qui représente ici la résistance, se fait sentir au centre de gravité du marteau. Quand le manche du marteau est plus long et sa masse plus lourde, le centre de rotation se transporte dans le coude, et enfin à l'extrémité du bras, dans le cas où sa

pesanteur et sa longueur augmentent encore. Quelle que soit la position du centre, le point où la puissance motrice opère en est toujours très-rapproché; ce qui fait que l'espace parcouru par la partie du marteau qui frappe, est considérablement plus grand que celui qu'il parcourt en même temps : de sorte que la main ou le bras imprime à cette partie une telle vitesse, qu'elle puisse, quoique combinée avec une petite masse, produire une quantité de mouvement considérable, quantité qui d'ailleurs va toujours en augmentant à chaque point de l'arc de cercle que le marteau décrit en agissant, parce que, d'un côté son inertie fait qu'il conserve en lui cette quantité de mouvement qu'il a acquise et que les résistances passives ne lui auront pas absorbée; et, de l'autre côté, la puissance ne cesse, pendant son action, de lui communiquer à chaque instant un nouveau degré de vitesse. Voilà pourquoi on fait décrire au marteau le plus grand arc possible : et c'est ainsi que nous voyons les forgerons élever jusqu'au dessus de leur tête leurs gros marteaux, pour frapper avec plus de violence le fer qu'ils travaillent.

51. Après avoir parlé de l'influence que la position des trois points principaux des leviers a sur leur manière d'agir, nous allons envisager ces mêmes leviers sous d'autres points de vue. On peut généralement attribuer la qualité de leviers aux corps mêmes qui tournent d'une manière quelconque autour d'un point fixe; mais il faut observer que ces sortes de leviers n'ont pas les mêmes propriétés lorsqu'ils tournent verticalement, et lorsque ce mouvement se fait horizontalement. Dans le premier cas, la distance entre les trois points principaux change à chaque instant, tandis qu'elle est invariable dans le second. Arrêtons-nous à examiner cette remarquable propriété des corps qui tournent verticalement. Leur pesanteur, qui résiste au mouvement, agit comme si elle était réunie dans leur centre

de gravité : ainsi la direction de son action doit être indiquée par une ligne verticale qui part de ce centre, et le point où cette force opère doit être déterminé par l'intersection de ladite ligne avec la surface inférieure du corps. Si l'on suppose maintenant qu'une ligne droite réunisse le point d'appui avec celui où agit la puissance motrice, cette ligne fera un angle avec la verticale dont nous avons parlé; mais cet angle n'est pas constant, il varie à mesure que la puissance élève ou abaisse l'extrémité mobile du corps. (Voyez la fig. 5, planche XV, qui représente une grosse pierre A mue par le levier *a b*.) Le point d'appui de la pierre est en *r*, le point où agit la puissance en *b*, le centre de gravité en *c*. Si l'on abaisse de ce point une perpendiculaire à l'horizon, on détermine le point d'intersection *m*, qui marque l'endroit où la résistance réunit ses forces pour résister à l'action de la puissance motrice. Mais lorsque, le levier sera parvenu à faire prendre à la pierre la position marquée par les lignes pointillées, le centre de gravité se trouvera en *d*, et le point d'intersection en *f*, bien plus rapproché du point d'appui *r* que ne l'était l'autre point *m*; et, à mesure que la pierre s'élèvera, il s'en approchera toujours davantage, jusqu'à ce qu'il vienne à coïncider avec le point d'appui. Alors la pierre se trouvera en équilibre sur ce point, et n'opposera plus aucune résistance à la force qui la soulève; passé ce point, il faudra lui résister en sens contraire, pour empêcher qu'en continuant le mouvement qu'on lui a imprimé, elle ne tombe avec trop de violence sur le côté *rg*. On voit donc que, toutes les fois qu'il faudra mouvoir une pierre ou une autre masse quelconques d'une manière analogue à celle que nous venons d'expliquer, on n'aura jamais à surmonter son poids total, mais seulement une portion qui est déterminée dans les divers cas par la forme du corps que l'on doit mouvoir, et par la position dans laquelle il se trouve;

et que cette résistance diminue progressivement; elle s'annule; et ensuite elle agit dans un sens opposé. Mais il faut faire une autre remarque importante, c'est que, si la puissance motrice n'est pas toujours perpendiculaire à la ligne qui unit le point d'appui avec celui où elle est appliquée: ou (ce qui revient au même) si elle n'a pas toujours une direction tangente à l'arc qu'elle décrit, lorsqu'elle élève l'une des extrémités du fardeau, elle deviendra variable et ne pourra jouir d'un avantage égal dans tous les points de cet arc. Il y a un grand nombre de cas où le désavantage produit par l'obliquité toujours croissante de la force motrice, augmente; tandis que l'avantage du rapprochement du point d'appui à celui où la résistance réunit ses efforts, augmente aussi; quelquefois il peut y avoir compensation, mais plus souvent ou l'avantage prédomine le désavantage, ou celui-ci surpasse l'autre.

52. Lorsqu'un corps quelconque tourne horizontalement autour d'un point, la ligne verticale qui part de son centre de gravité rencontre toujours sa surface inférieure dans le même point; ainsi la puissance motrice éprouve partout une résistance égale. Cette même puissance peut presque toujours se procurer dans le mouvement horizontal un avantage qu'elle ne peut que très-rarement obtenir dans le vertical, c'est d'agir constamment dans une direction tangente à la circonférence qu'elle décrit.

53. La propriété qu'ont tous les corps qui tournent autour d'un point fixe, pris dans leur longueur, de pouvoir servir eux-mêmes de levier à la puissance qui leur doit communiquer le mouvement, facilite singulièrement ces sortes d'opérations. C'est ainsi que la longueur d'un vaisseau à la voile, agissant comme un levier par rapport au timon, lui donne la faculté d'en changer la direction, quoique la surface qu'il présente à l'impulsion de l'eau soit très-médiocre en comparaison de la

grandeur du vaisseau. Dans une foule de circonstances, on facilite encore plus le mouvement, en augmentant la longueur du corps à mouvoir, par l'insertion de quelques bras de levier. Les laboureurs adaptent à la queue de leurs charrues deux bras de levier, pour pouvoir plus facilement les tourner et les diriger; les canonniers, pour une raison semblable, en insérent aussi dans la queue des affûts. Les moulins à vent ayant besoin de présenter directement la surface de leur volant au vent, on est obligé, lorsqu'il change de direction, de tourner, ou tout le corps du moulin, ou du moins sa partie supérieure. Cette opération s'effectue au moyen d'une grande queue ou bras de levier, réuni solidement avec le moulin, ou avec son toit, et d'un petit cabestan qui agit sur l'extrémité de ce levier. Le radoub des vaisseaux dans les ports de mer où il n'y pas de bassin préparé pour cet usage, exige qu'on les incline jusqu'à ce que la quille sorte hors de l'eau, et qu'on les tienne ainsi couchés sur le flanc, tout le temps que dure la réparation qu'on doit faire à cette partie du vaisseau qui était immergée, et que nous supposons maintenant hors de l'eau. Il faut une force considérable pour incliner ainsi un grand vaisseau; mais cette même force ne suffirait pas, si elle n'était appliquée à l'extrémité des mâts qui servent de levier, et lui fournissent un grand secours.

54. Les leviers mobiles (j'appelle ainsi ceux qui ne font pas partie des corps à mouvoir, ou qui n'y sont pas adaptés d'une manière fixe, et qu'on peut faire agir successivement en différentes positions) s'emploient dans presque toutes les opérations qui ont rapport aux mouvemens des fardeaux; dans plusieurs même, on ne se sert que de ce seul moyen. Deux ouvriers intelligens peuvent, avec un levier, quelques coins de bois et des rouleaux, transporter une pierre du poids de 2 à 3 milliers métriques, et la retourner en divers sens. On voit tous les jours un

meunier, seul, avec d'aussi simples moyens, lever la meule tournante, qui pèse ordinairement plus de 2 milliers métriques, de dessus la meule gisante; la placer dans une position verticale; la conduire à une certaine distance, afin de la piqueter, et ensuite la *superposer* sur la meule gisante, dans la situation qu'elle doit avoir pour travailler. Dans les forges des grosses ancres, où l'on doit transporter, du fourneau à l'enclume, des masses de fer qui pèsent quelquefois jusqu'à 2 milliers métriques, on fait cette opération avec aisance, moyennant un grand levier de fer suspendu à une potence tournante. La facilité avec laquelle les forgerons manient ces lourdes et brûlantes masses, et les retournent en tous sens, est vraiment digne de remarque. Ils ne se servent pour cela que du levier que nous venons de décrire, et de quelques autres leviers à main; mais ils ont l'adresse de faire servir aussi ces mêmes masses comme levier, et, pour leur donner un plus grand avantage, ils les allongent à leurs extrémités, en y soudant une barre de fer.

55. On emploie quelquefois de grands leviers pour faire les efforts les plus considérables. M. *Carburi* s'en servit dans la mémorable opération du déplacement et du transport de l'énorme rocher qui sert maintenant de base à la statue équestre de Pierre-le-Grand. Il fallut d'abord le renverser, parce que sa forme était telle, que ce qui était en largeur devait être en hauteur. Pour ne rien perdre en frottemens, M. *Carburi* résolut de n'employer que le levier ordinaire de premier genre. (Voy. fig. 1, pl. VI, qui représente un des leviers dont il se servit.) Il fit faire des pyramides triangulaires, leurs bases étaient formées de pièces de bois qui avaient 2 décimètres d'équarissage; elles étaient arrêtées à leurs angles par des équerres de fer, et elles avaient quatre mortaises qui devaient recevoir les montans de la pyramide, qui n'avaient que 0 mèt., 16 d'équarissage. Chaque levier était formé de trois

mâts, qui diminuaient de grosseur d'une de leurs extrémités à l'autre. Le plus grand diamètre de ces arbres était de 5 à 6 décimètres, et ils avaient environ 22 mètres de longueur. M. *Carburi* assure que chacun de ces leviers pouvait soulever environ 100,000 livres métriques. Pour s'en servir, on arrêtait un des bouts d'une corde au treuil de la pyramide, et, après avoir fait faire à la corde sur les moufles les révolutions nécessaires, on fixait l'autre bout sur l'une des extrémités du levier. Tout étant ainsi disposé, on tournait le treuil et par là on élevait le bout du levier au haut de la pyramide; après cette manœuvre, on avançait le gros bout du levier sous le rocher, et sur le point d'appui qui en était tout proche; on arrangeait ensuite les cordes sur les moufles, de manière que le bout supérieur du levier fût tiré en bas par le treuil, ce qui ne se pouvait faire qu'en élevant le fardeau, ou cassant le levier. La base de la pyramide étant fixée solidement sur le terrain par des pilotis d'appui, étant fort loin de la force mouvante et très-près du mobile, trois hommes suffisaient à chaque pyramide pour cette manœuvre, et les mêmes hommes, avec des leviers de fer, pouvaient encore facilement faire avancer les pyramides vers le rocher, à mesure qu'on élevait l'un de ses angles pour changer sa situation. *Dominique Fontana*, lorsqu'il transporta l'obélisque du Vatican, fit aussi usage de quatre énormes bras de levier de la longueur de 70 palmes, qui correspondent à 16 mètres, conjointement avec quarante cabestans, pour détacher l'obélisque, et l'élever de dessus son ancien piédestal. Lorsqu'on lance un vaisseau à la mer, s'il ne glisse pas de lui-même aussitôt que l'on a coupé le câble de retenue, et qu'il a été délivré de toutes ses épontilles, on donne l'impulsion à cette énorme masse avec deux grands bras de levier de 14 à 16 mètres de longueur, sur les extrémités desquels on fait agir quelquefois deux cents hommes appliqués à des câbles qui y sont attachés.

CHAPITRE IV.

Du Cabestan.

56. On donne le nom de *cabestan* à un treuil vertical que l'on fait tourner circulairement avec des barres ou leviers horizontaux. Quoique le cabestan soit une des machines les plus simples dont on puisse faire usage pour produire de grands efforts, il ne l'est pas néanmoins assez pour ne pas avoir plusieurs parties, dont quelques-unes sont essentielles, et doivent se trouver indispensablement dans toutes les espèces de cabestans; et les autres sont secondaires, c'est-à-dire elles sont utiles sans être absolument nécessaires. Le treuil et les bras de leviers sont les seules parties essentielles. Parmi les secondaires, la plus importante est cet assemblage de charpente dans lequel le treuil est inséré, et que l'on nomme *chèvre*. Les autres servent, ou à régler la direction du câble, et à la fixer horizontalement à une hauteur déterminée, ou à arrêter le cabestan lorsqu'il faut interrompre son action, ou à adapter au treuil plusieurs leviers à une même hauteur, sans l'affaiblir.

57. On distingue deux espèces principales de cabestans : les *mobiles*, qui sont ceux qu'on peut changer de place, et transporter avec facilité d'un lieu à l'autre, et les *fixes*, qui doivent toujours travailler dans le même endroit, comme ceux des vaisseaux, et ceux qui sont placés à demeure sur les quais des ports.

58. Les cabestans ordinaires, dont on fait un usage si fréquent dans un grand nombre d'opérations, ont une construc-

tion extrêmement simple, facile à exécuter et très-peu coûteuse. A de si précieux avantages, ils réunissent ceux, non moins recommandables, d'être très-solides, d'une longue durée, et très-peu sujets aux réparations. Leurs treuils sont ordinairement cylindriques, quelquefois un peu coniques. Leur partie supérieure forme une tête carrée, percée de deux trous qui se croisent à angle droit l'un sur l'autre. C'est dans ces trous qu'on enfile les barres auxquelles on applique les hommes ou les chevaux qui doivent les faire tourner. Le bas du treuil est fixé dans la chèvre par un tourillon qu'on fait entrer dans un trou rond, d'un diamètre presque égal, percé dans un madrier arrêté sur la base de la chèvre; le haut du treuil est fixé par un autre madrier portant une entaille demi-circulaire, qui le bute en sens contraire de l'effort. En se servant des cabestans, on commence d'abord par arrêter la chèvre à un point fixe, avec un cordage à plusieurs doubles, attachés aux pieds de derrière. Quand il ne se trouve pas de point fixe à portée, on plante dans le terrain de forts pieux pour en servir. On prend ensuite un câble, dont la grosseur doit être proportionnée au poids du fardeau, et, après lui avoir fait faire plusieurs tours sur le treuil, on attache un des bouts au fardeau, et l'on fait tenir l'autre par un homme qui est assis par terre. A mesure que les hommes appliqués aux barres du cabestan font tourner le treuil, la partie du câble attachée au fardeau se roule dessus, tandis que celle tenue par l'homme assis se développe de manière qu'il y a toujours le même nombre de tours sur le treuil. C'est pour produire cet effet qu'on place l'homme assis par terre; il doit tenir le câble assez ferme pour l'empêcher de glisser. La force qu'il lui faut n'est pas considérable, à cause du frottement, qui augmente en raison du nombre des tours.

59. Il est bon de remarquer que la partie du câble qui s'en-

veloppe sur le treuil, avance à chaque tour de son épaisseur; de sorte qu'après un certain nombre de tours, le câble ne trouve plus de place pour s'y rouler. On est alors obligé d'arrêter le cabestan et de lâcher le câble pour le faire remonter ou descendre, selon que le bout du câble attaché au fardeau est en bas ou en haut, afin de faire place pour que le câble puisse continuer à rouler sur le treuil. Cette opération, que les ouvriers appellent *choquer*, a besoin d'être répétée fort souvent lorsque la distance où l'on doit transporter le fardeau est considérable; elle est même dangereuse lorsqu'il s'agit d'élever un fardeau ou de le traîner sur un plan incliné.

60. L'Académie des sciences proposa, pour le prix de 1739, de trouver un cabestan qui eût les avantages de l'ancien sans en avoir les défauts, et surtout dans lequel on eût évité celui de *choquer*. Parmi les mémoires qu'elle reçut, elle n'en trouva cependant aucun qui remplît suffisamment les conditions qu'elle avait exigées. Elle proposa le même sujet pour l'année 1741, avec un prix de double valeur. Les savans ont profité de ce délai, soit pour composer de nouveaux mémoires, soit pour faire des additions et des corrections aux anciens. Mais l'Académie a déclaré que parmi les cabestans qui lui ont été présentés, elle n'en a trouvé aucun qui n'eût lui-même des inconvéniens, et tels qu'ils pourraient en balancer les avantages; elle a cependant jugé que quatre de ces mémoires méritaient d'être récompensés: car, outre qu'on y proposait des cabestans nouveaux, ingénieusement imaginés et utiles, au moins dans certains cas, on y donnait des théories qui peuvent conduire à perfectionner les manœuvres de l'ancien cabestan; et elle a partagé le prix également à ces quatre mémoires, qu'elle a fait imprimer dans le cinquième volume du *Recueil des pièces qui ont remporté le prix*, conjointement à trois autres mémoires, sous le

titre d'*accessit*. Parmi les auteurs des mémoires couronnés, on distingue le marquis de *Poleni*, et *Jean Bernouilli*, le fils.

61. Un des moyens proposés pour remédier à l'inconvénient de choquer, est de disposer circulairement, autour d'un cabestan, à l'endroit où passe le câble, plusieurs tenailles ou pinces, qui, d'un côté serrant avec force le câble, l'empêchent de glisser, tandis que celles qui sont du côté opposé s'ouvrent et lâchent le câble. Chacune de ces tenailles, dès qu'elle a pincé le câble, le tient serré pendant le temps qu'elle parcourt un arc d'environ cent vingt degrés; après quoi, elle le lâche en se rouvrant: de sorte que, si le cabestan a douze de ces tenailles, il y en aura continuellement quatre en action. Ce moyen a deux désavantages très-marquans: outre celui d'être compliqué, 1°. les tenailles ne peuvent qu'user très-promptement le câble, quoiqu'on prenne des précautions pour le préserver; 2°. les mêmes tenailles sont par leur nature sujettes à des dérangemens fréquens lorsqu'elles travaillent, dérangemens qui ont toujours des suites très-incommodes et souvent très-dangereuses.

62. Bernouilli a observé que *sur un cabestan, tant que la corde ne fait pas un tour entier, et que les deux bouts sont tirés perpendiculairement à l'axe, et dans le plan que la corde embrasse, en tournant le cylindre, la corde qui se dévide dessus demeure toujours dans le même plan sans s'approcher ni s'éloigner des extrémités du cylindre; et que, dans le cas où les directions suivant lesquelles on tire la corde ne soient pas dans le plan de l'arc que la corde fait d'abord sur le cylindre, elle change de place, en le tournant, jusqu'à ce que les directions des forces soient dans le plan de cet arc.* Ce mathématicien imagina un moyen facile d'éviter ce déplacement, malgré l'obliquité: ce fut de faire au-

tour du cylindre une entaille en forme de coulisse, telle qu'on en voit aux poulies. Cette coulisse devait être si profonde, qu'en supposant une obliquité de force de 30 à 40 degrés et au delà, la corde n'aurait jamais pu en sortir pendant la rotation. Suivant ces principes, *Bernouilli* proposa de faire passer le câble sur deux treuils, au lieu d'un seul, comme dans le cabestan simple, en faisant autour de chacun de ces deux cylindres un certain nombre de cannelures ou coulisses, toutes horizontales et par conséquent parallèles entre elles, et proches les unes des autres; mais, afin de partager l'obliquité du câble qui passe d'un cylindre à l'autre, les coulisses dans les deux cylindres ne devaient pas être de niveau, mais la première coulisse du second cylindre devait se trouver entre les deux premières de l'autre. Alors, en faisant passer le câble dans la première coulisse du premier cylindre; puis en le repliant, avant qu'il eût fait un tour entier, dans la première coulisse de l'autre, on l'aurait fait passer de là dans la seconde coulisse du premier, et ainsi de suite. Il adaptait à chacun des treuils une roue dentée: ces deux roues, s'engrenant mutuellement, auraient communiqué le mouvement de l'un à l'autre. Par ce moyen, le cordage peut se dévider sur les deux cylindres, sans que pour cela il descende ou remonte, à mesure qu'on tourne les cylindres sur lesquels il se dévide. On fait plusieurs coulisses qui occasionent un frottement assez grand pour que le câble ne puisse pas glisser pendant qu'on tourne le cylindre. Cette méthode a été modifiée de différentes manières par plusieurs mécaniciens, et entre autres par M. *Cardinet*, qui fut pour cet objet récompensé par le gouvernement en 1794. Elle a l'inconvénient de faire perdre au cabestan sa plus précieuse propriété, qui est la simplicité; elle en rend la manœuvre embarrassante et incommode, et elle lui fait occuper un espace trop considérable.

63. Le marquis *de Poleni* a proposé un moyen beaucoup plus simple que les deux précédens. Ce moyen est de placer, autour de la base du cabestan, un anneau fixé solidement au plan, sur lequel la partie inférieure du cabestan est appuyée, et sur laquelle il tourne. La surface supérieure de cet anneau n'est pas plane; mais elle suit la courbure d'une spirale, de sorte qu'elle forme un plan incliné circulaire, lequel oblige le câble à remonter, à mesure qu'il s'enveloppe. Pour diminuer les frottemens du câble contre cet anneau, on a proposé ensuite d'y substituer des roulettes de bronze, placées autour de la base du cabestan, et dont les diamètres, augmentant progressivement, fissent l'effet du plan incliné. Cette méthode rend plus fortes les résistances passives, que la force motrice doit vaincre, et use le câble. Le moyen suivant est plus simple; mais il a les mêmes inconvéniens, cependant à un moindre degré : c'est de faire le treuil conique, en ajustant par devant un *rouleau sans fin*, ou une poulie, qui maintient le bout du câble attaché au fardeau, toujours à une même hauteur; par ce moyen, le tour qui s'enveloppe par le bas, étant le plus serré, fait, pour se placer, remonter les autres tours qui le sont moins, avec d'autant plus de facilité, que la grosseur va en diminuant, de manière que le câble file, sans avoir besoin de choquer. Lorsque le fardeau tire de haut en bas, le cable passe au-dessus de la poulie, et il passe au-dessous quand il tire de bas en haut.

64. Quand on veut appliquer beaucoup d'hommes aux cabestans, on forme une espèce de plateau circulaire, avec un trou quarré au milieu, qui s'enfile dans la tête du cabestan. Ce plateau est percé d'autant de mortaises qu'on veut y mettre de leviers; de cette manière on place à une même hauteur plusieurs bras de leviers, sans affaiblir le treuil. Des mécaniciens ont proposé d'attacher des cordes à l'extrémité de chaque le-

vier, et d'y appliquer les hommes moteurs, au lieu de les faire agir, lorsqu'ils sont plusieurs, sur les leviers mêmes. Je crois qu'effectivement cette méthode serait plus avantageuse.

65. Quelques cabestans portent une crémaillère à leur base, dans les dents de laquelle s'insinuent deux cliquets, placés à côté, afin d'arrêter le mouvement du cabestan sans danger, quand on élève des fardeaux. Pour plus de solidité, on fait des entailles revêtues de lames de fer, au bas des grands cabestans de vaisseaux, qui tiennent lieu de crémaillères, et dans lesquelles entrent de très-fortes pièces de fer fondu qui servent de cliquets.

66. Un homme vigoureux, de bonne volonté, et qui ne travaille que momentanément à pousser le levier d'un cabestan, peut y exercer une force équivalente à un poids de plus de trente kilogrammes; mais si le travail doit durer long-temps, cette force se réduira à 15 ou 20 kilogrammes. Il faut observer de plus que lorsqu'on applique beaucoup de monde à un cabestan, et que les travailleurs ne sont pas excités par des motifs d'intérêt particulier, la plupart d'entre eux ne font usage que d'une portion de leur force, ce qui fait qu'on ne doit estimer la force, dans des cas semblables, que de 12 ou 15 kilogrammes. Un homme agit sur le levier d'un cabestan avec moins de vigueur que sur une roue à chevilles, que nous décrirons bientôt. Plusieurs personnes en déduisent la conséquence que le travail fait avec un cabestan, n'est que le tiers ou tout au plus la moitié de celui fait avec la roue à chevilles. C'est une erreur; car si l'on compare la manière d'agir de l'un à celle de l'autre, on s'apercevra qu'effectivement l'homme opère sur le cabestan avec moins de vigueur, mais aussi avec plus de célérité, tandis que l'action qu'il exerce sur la roue à chevilles est d'autant plus lente, qu'elle est plus forte. Il y a donc une espèce de compensation, car, si l'on examine ensuite l'effet produit par l'un, et celui pro-

duit par l'autre dans un temps déterminé, on trouvera qu'à égalité de circonstances, ils sont les mêmes; c'est-à-dire que, si par le moyen de l'un on a soulevé un certain nombre de pieds cubes de matière à une hauteur donnée, on en aura également soulevé avec l'autre un même nombre. Cette qualité du cabestan, examinée dans ce sens, n'est donc qu'un inconvénient apparent, sans être réel; mais le même homme, dont la force est suffisante pour mouvoir un fardeau déterminé, avec une roue à chevilles ne pourra le faire avec un cabestan qui aura les mêmes dimensions, si on n'allonge pas les barres, ou si l'on ne diminue pas la grosseur du treuil, ou bien si l'on ne combine pas avec le cabestan des moufles, ou quelques autres machines subsidiaires. Le cabestan a l'inconvénient d'exiger un homme dont la force ne coopère nullement à augmenter la quantité d'action, mais qui sert uniquement à tirer et à faire filer le câble, pour que les tours qu'il fait sur le treuil, ne s'y accumulent pas. Il est bon d'observer que cette opération n'étant pas pénible, on y emploie ordinairement un jeune manœuvre.

Si l'on fait usage d'un cabestan où l'on soit obligé de choquer, il ne faut pas oublier de faire attention aux interruption occasionées par cette opération, lorsqu'on doit calculer le produit de son travail.

67. Une des qualités les plus avantageuses du cabestan est qu'il admet simultanément, et sans confusion, l'action de plusieurs hommes. Il y a de grands cabestans de vaisseaux, auxquels on peut appliquer plus de cent hommes à la fois, et qui sont capables de produire par eux-mêmes, et sans qu'il soit nécessaire de les combiner avec des moufles ou d'autres machines, un effort équivalent à 12 ou 15 milliers métriques. Les cabestans admettent aussi l'action des chevaux, et d'autres espèces d'animaux, et ils admettent même tout à la fois et l'action des

hommes et celle des chevaux. *Dominique Fontana* employa 16 hommes et 2 chevaux à chacun des 40 cabestans qui servirent pour le transport et pour l'érection de l'obélisque du Vatican. Une autre qualité avantageuse, particulière au cabestan, c'est qu'on peut disposer autour de son essieu des forces égales, dirigées parallèlement deux à deux en sens contraire, en sorte que le fardeau seul produise la charge des appuis; ainsi le déchet causé par le frottement des pivots sur les appuis du cabestan, en est d'autant moindre que celui souffert sur l'effet des autres machines, dont l'essieu est horizontal, et dont les appuis sont presque toujours chargés conjointement par le fardeau et par les puissances motrices qui tirent de haut en bas. D'ailleurs, quand les puissances motrices ne contribuent en rien à la charge des appuis, leur situation devient en certains sens indifférente à leur égard, (ce qui procure de l'aisance pour leur emplacement, et pour celui des barres auxquelles elles sont appliquées;) au lieu que, quand les puissances motrices contribuent à la charge des appuis, on doit éviter autant qu'on peut de les placer hors de l'intervalle compris entre eux, parce que leur charge en serait augmentée. Je fais observer, à cette occasion, qu'il ne faut jamais, si cela se peut, que la direction du fardeau soit hors de l'espace contenu entre les appuis du cabestan; car alors la charge des appuis pourrait aisément augmenter jusqu'au double ou au triple. Dans le cabestan, l'effort des hommes est toujours constant, et il s'exerce avec continuité, au lieu que, dans les treuils horizontaux, il est ordinairement variable. L'effort que l'homme fait sur le cabestan est aussi moins pénible, parce que, pour le produire il y a le concours d'une portion de sa gravité avec l'action des muscles extenseurs des cuisses, des jambes, des pieds et d'autres qui produisent les mouvemens de ces parties, et ces muscles sont doués d'une

force extraordinaire, comme *Borelli* l'a démontré dans le célèbre ouvrage sur le *Mouvement des animaux*.

68. M. *Fenel*, ayant fait construire un cabestan, sur lequel il employait des cordes de cinq pouces de pourtour, et qui étaient très-longues, a fait une observation curieuse sur le relâchement et le roidissement alternatifs des cordes qui traînent un fardeau. On attacha à l'extrémité des cordes un grand traîneau chargé de pièces de fer et de plusieurs grosses pierres. Le cabestan, viré par quatre hommes, amena le traîneau avec une si grande facilité, que les hommes couraient en tournant plutôt qu'ils ne marchaient. Et comme M. *Fenel* voulait éprouver toute la force de sa machine, il engagea six ou sept personnes qui étaient avec lui, à monter sur le traîneau et par-dessus les poids dont il était chargé. Ces personnes s'aperçurent que le traîneau n'avançait que par accès ou par saccades, et non d'un mouvement continu. Il monta alors lui-même sur le derrière du traîneau, et prenant une perche qu'il fichait en terre, à chaque fois que le traîneau s'arrêtait, il remarqua, 1°. que le traîneau en effet n'avançait pas d'un mouvement continu, mais par accès et par secousses, quoique le cabestan tournât sans cesse et extrêmement vite; et afin qu'on ne croie pas que l'inégalité du terrain était l'unique cause de cet effet, il avertit que cela se passait sur une pelouse verte dans une grande allée de jardin très-unie; 2°. que les saccades qu'on éprouvait sur le traîneau, devenaient d'autant plus courtes que la corde diminuait davantage de longueur; 3°. que pendant les plus grandes longueurs de la corde, le traîneau parcourait sept à huit pouces à chaque accès; après quoi il s'arrêtait sensiblement, et que cet espace diminuait par degrés, jusqu'à n'être que d'un pouce, et encore moins, lorsque le traîneau approchait du cabestan; 4°. que les intervalles de temps qui se trouvaient entre les accès étaient

d'autant plus longs, que les espaces parcourus pendant les accès étaient plus grands, et qu'ensuite ces intervalles diminuaient de manière qu'à la fin, et le fardeau étant tout proche du cabestan, les accès ou les espaces parcourus se confondaient presqu'entièrement et donnaient à ceux qui étaient sur le traîneau la sensation d'un mouvement presque uniforme et continu. M. *Fenel* fit réitérer l'épreuve deux ou trois fois, et elle eut toujours le même succès. Il trouva aussi que la corde était dans un trémoussement continuel, plus sensible vers son milieu que partout ailleurs, et qui se faisait horizontalement, verticalement et presqu'en tous sens, avec beaucoup de variété; il ne fallait qu'y appliquer la main pour s'en convaincre; mais on y remarquait surtout un balancement de haut en bas, et de bas en haut, c'est-à-dire, de véritables vibrations verticales, qui surpassaient de beaucoup toutes les autres, et qui n'empêchaient pas cependant de discerner tous ses petits tremblemens. Le traîneau n'avançait que dans le temps précisément que la corde baissait et que sa vibration verticale s'approchait de la terre, et jamais quand elle haussait.

69. Les cabestans fixes diffèrent des mobiles en ce qu'ils n'ont pas de chèvre. Il y a deux sortes principales de cabestans fixes, ceux qu'on établit sur les quais des ports, et ceux des vaisseaux. La figure 1 planche XVIII représente un cabestan mobile ordinaire, monté dans sa chèvre. La figure 2 représente un cabestan fixe qui tourne sur un pivot de fer. Ce pivot est scellé dans un massif de pierres de taille; la partie inférieure x est cylindrique; la partie supérieure a la forme d'un cône arrondi vers le sommet. Le cabestan A B C D est mobile autour de cet axe; il est composé de trois pièces de bois assemblées comme les *voussoirs* d'une voûte, qui serait terminée intérieurement par une surface peu différente de celle de l'arbre du

cabestan. Les deux *joints* de chacune de ces pièces de bois, dirigés vers le milieu de l'arbre, portent l'un un *tenon* et l'autre une *mortaise*. Deux fortes *frêtes r r* empêchent les pièces qui composent le cabestan de se désunir. La surface extérieure du cabestan est conique, et elle est couverte de *taquets*, qui augmentent le diamètre du treuil, et qui empêchent qu'il ne soit dégradé par la compression du câble. Le pivot de fer porte deux *renflemens y y*, qui ont chacun la forme d'un anneau, et qui tournent dans les *gorges* de bronze fixées à la partie creuse du cabestan.

CHAPITRE V.

Des diverses espèces de treuils horizontaux, moulinet ou virevau, roues à chevilles, roues à tambour, roues à double force.

70. Ces quatre espèces de treuils horizontaux se distinguent entre elles par les différences suivantes. 1°. Le moulinet est un petit treuil auquel on adapte quatre bras de levier perpendiculaires les uns aux autres, à chacune de ses extrémités ; on donne le nom de *virevau* à un treuil simple plus grand qui, au lieu d'avoir des bras de levier fixes, a plusieurs trous, dans lesquels les hommes qui agissent sur lui insèrent successivement le bout d'un bras de levier, que chacun d'eux tient à la main ; 2°. La roue à *chevilles* est un treuil plus grand encore, qui, au lieu d'avoir des bras de levier, a une grande roue placée perpendiculairement sur ce même treuil, laquelle porte à sa circonférence des chevilles posées à la distance de 3 décimètres à peu près l'une de l'autre. C'est sur elles qu'agissent les hommes qui doi-

vent faire tourner le treuil. 3°. La roue à tambour diffère de la précédente, en ce qu'elle est double, pour former une espèce de tambour avec des planches clouées sur ces deux circonférences parallèles. Elle a des *tasseaux* placés intérieurement, pour qu'un ou plusieurs hommes puissent marcher dedans, et fassent tourner le treuil par le poids de leurs corps. 4°. Les hommes qui font tourner la roue à double force, au lieu de marcher dedans, marchent extérieurement; ainsi le tambour de cette roue n'a que de simples tassaux, disposés de manière à former une espèce d'échelle circulaire. Après que nous aurons examiné quelques circonstances qui appartiennent généralement à toutes ces espèces, nous examinerons chacune d'elles en particulier.

71. Si une corde d'une longueur et d'une grosseur considérables doit s'envelopper sur un treuil horizontal, et si les tours se disposent à côté l'un de l'autre, la partie verticale de la corde qui soutient la résistance, change de place et s'éloigne de l'endroit où elle se trouvait au commencement de l'opération; sans cela les tours s'accumuleraient les uns sur les autres. Ces deux inconvéniens sont d'autant plus défavorables que la longueur et la grosseur de la corde est plus grande. On a imaginé des moyens pour y remédier, mais la plupart sont de telle nature, qu'en remédiant à l'un, l'on produit l'autre. Si l'on veut que la portion verticale de la corde reste à la même place, ou bien ne s'en éloigne qu'insensiblement, on obtient cet effet en changeant la figure cylindrique qu'on donne ordinairement au treuil, en celle de deux troncs de cône réunis au milieu de sa longueur; c'est-à-dire en lui donnaut une figure telle, que les deux plus grandes circonférences du treuil soient égales entre elles, se trouvent aux deux extrémités et ensuite diminuent progressivement en s'approchant du milieu, où doit se trouver la plus petite cir-

conférence. Cette forme empêche les tours de la corde de s'étendre latéralement; mais elle les oblige en même temps de s'accumuler. Si au contraire on désire que les tours de la corde ne s'accumulent point, mais se disposent régulièrement le long du treuil, il faut lui donner la forme d'un seul tronc de cône, qui ait la plus grande base du côté où la corde commence à l'envelopper, et la plus petite à l'autre extrémité; il faut aussi que ses deux extrémités soient garnies de rebords assez forts pour contenir la corde, et l'empêcher de glisser hors du treuil. Cette forme conique ne permet point aux tours de la corde de se placer les uns sur les autres, si ce n'est lorsque la longueur du treuil est entièrement couverte; et, dans ce cas, l'accumulation se fait sur la partie qui a le moindre diamètre. Si l'on veut éviter tout à la fois les deux inconvéniens indiqués, il faut donner d'abord au treuil la forme de deux troncs de cône, qui aient leurs petites bases réunies au milieu; et, quand on veut opérer, il faut laisser libre le bout de la corde opposé à celui qui soutient le fardeau, et, lui ayan fait faire quelques tours sur le treuil, placer un homme assis qui, tenant ce bout libre, le tire à mesure que la corde s'enveloppe, et le fasse filer comme on le pratique à l'égard du cabestan.

72. On adapte souvent aux treuils des *crémaillères* avec leurs *cliquets*, pour que l'on puisse sans crainte suspendre leur action, toutes les fois qu'il est convenable de le faire, et que pendant cette interruption le poids qu'on soulève soit soutenu.

Des Moulinets et des Virevaux.

73. Ces machines sont d'une très-grande utilité à cause de leur extrême simplicité, du peu d'espace qu'elles occupent, de la facilité avec laquelle on les change de place, on les adapte sur toutes sortes d'échafauds et à toutes espèces de combinaisons de

charpente, telles que les *engins*, les *chèvres* et autres, quoique la force motrice des hommes qui agissent sur elles ne puisse être ni uniforme, ni continue, parce que les bras appliqués à l'extrémité des barres du treuil font des angles qui varient à chaque point de la circonférence décrite par cette extrémité des barres, lorsqu'elles sont en mouvement, et parce que les bras, passant d'une barre à l'autre, cessent nécessairement d'agir dans le temps de ce passage. Les précieuses qualités qu'a cette espèce de treuils horizontaux font oublier ses inconvéniens.

Roues à chevilles.

74. Le diamètre que l'on donne ordinairement aux roues à chevilles, varie depuis 3 jusqu'à 6 mètres. On en fait rarement de plus petites que de 3 mètres, car on préfère à celles-ci les *virevaux*, qui sont beaucoup moins embarrassans, et surtout beaucoup moins coûteux. On n'en fait presque jamais construire d'un diamètre qui excède 6 mètres, parce qu'elles deviennent alors trop pesantes, et occupent un espace trop considérable; tandis que les frottemens et autres résistances passives s'y font sentir plus vigoureusement. On a reconnu qu'il était convenable de donner au diamètre du treuil de ces roues la douzième partie de la grandeur de celui de la roue même; cette proportion est presque généralement adoptée.

75. Les hommes qui font tourner une roue à chevilles peuvent agir avec tout le poids de leur corps, et il est équivalent ordinairement à 65 ou 70 kilogrammes. Si le diamètre de la roue étant, comme nous venons d'indiquer, douze fois plus grand que celui du treuil, on les appliquait à l'extrémité du levier horizontal indiqué par le rayon de la roue, chacun d'eux ferait équilibre à un fardeau de 780 kilogrammes. Mais, lorsque la machine tourne, il faut qu'une partie de cette force soit employée à vaincre les résistances passives. D'ailleurs, il n'est jamais pru-

dent d'opposer aux moteurs une résistance qui les oblige de déployer toute leur force, de crainte que la résistance qui serait alors presque en équilibre avec cette force, ne reçoive par un accident quelconque une augmentation d'action, ne les entraîne et n'occasione des accidens funestes. Voilà pourquoi on ne doit évaluer l'effort que chaque homme produit avec une roue à chevilles, qui ait les proportions indiquées, qu'à 500 kilogrammes: c'est ce que l'expérience a effectivement démontré. La vitesse moyenne avec laquelle la roue est mue est ordinairement de 9 à 10 pouces par seconde.

76. M. *Rondelet* affirme que les *encliquetages* que l'on ajuste quelquefois aux treuils, pour retenir la roue lorsque malheureusement le câble qui soutient le fardeau vient à casser, et pour l'empêcher de tourner en sens contraire et, dans son mouvement, d'enlever les hommes, ou de les rejeter avec péril de leur vie, sont plus nuisibles qu'utiles; car il dit avoir reconnu par expérience que, lorsqu'un câble casse, le cliquet qui arrête subitement la roue, occasione un soubresaut assez violent pour secouer les hommes de dessus les chevilles quoiqu'ils se tiennent à la roue, et qu'ils s'estropient dans leur chute. Quand il n'y a pas de déclic, la roue n'éprouve qu'un balancement de quelques pieds qui n'agit pas assez fort pour secouer les hommes. Le même auteur ajoute en outre qu'il a vu, pendant la construction de l'église de Sainte-Geneviève, plusieurs fois des câbles casser, et des pierres qu'on soulevait se décrocher en les tirant pour les faire arriver sur le tas; aucun des hommes qui étaient sur les roues des *grues* et des *singes* n'a été blessé, quoiqu'il n'y eût rien pour arrêter ces roues. Il est arrivé une fois, dit-il, qu'en montant au *singe* une pierre qui pesait plus de trois milliers métriques, le câble se cassa lorsque la pierre était à plus de 30$^{mèt.}$ de hauteur; il y avait sept hommes sur la

roue à chevilles, aucun ne fut blessé; il n'en résulta qu'un balancement d'environ 1$^{\text{mèt.}}$ 6. Le fardeau monte si lentement, qu'il ne peut pas procurer à la roue une vitesse et une force assez grandes pour enlever les hommes, comme plusieurs se l'imaginent, parce que le poids des hommes dont elle est chargée, qui fait équilibre au fardeau, s'y oppose. Il est bon de remarquer ici que c'est toujours une grande faute que de vouloir arrêter tout d'un coup le mouvement des machines; car les réactions qui ont lieu alors les endommagent, si elles ne les désorganisent pas, et produisent souvent des accidens très-graves. Il faut toujours s'y prendre de manière à diminuer peu à peu le mouvement avant de l'anéantir.

77. Je ne connais pas de moyen mieux imaginé pour produire un tel effet, que celui dont on fait usage dans les moulins à vent. Ce n'est autre chose qu'un cercle fort mince de bois de hêtre qui entoure la roue dentée; ce cercle est attaché solidement par un bout à un point fixe de la charpente du moulin; l'autre bout, mobile, est assujetti à un bras de levier dont l'extrémité porte un poids assez considérable, et est attaché en même temps à la *chape* d'une poulie mobile. Lorsque le moulin tourne, l'extrémité du levier, avec le poids, est soulevée de manière que le cercle ne gêne aucunement le mouvement de la roue; mais, lorsqu'il faut l'arrêter, on abaisse très-lentement le bras du levier, qui, en descendant, tire peu à peu le bout du cercle qui lui est assujetti, l'oblige d'embrasser la circonférence de la roue, et de la serrer de plus en plus jusqu'à ce qu'elle soit obligée de s'arrêter. Ce simple mécanisme pourrait s'adapter avec succès à d'autres machines; il suffirait d'y ajouter une roue de cinq à six pieds, destinée à recevoir l'action du cercle. Cette roue, dans plusieurs machines, pourrait peut-être servir en même temps à d'autres usages.

78. Il arrive très-rarement qu'on emploie plus de huit ouvriers à la fois sur une roue à chevilles ; et, dans ce cas, le treuil porte deux roues parallèles : s'ils étaient en plus grand nombre : ils s'embarrasseraient l'un l'autre, et on ne saurait comment les placer. Le plus grand effort qu'on obtienne donc avec un treuil à deux roues à chevilles, sans la combinaison d'autre mécanisme, est de trois à quatre milliers métriques (75).

Roues à tambour.

79. J'ai eu occasion, non-seulement d'examiner plusieurs machines mues par des roues à tambour, mais aussi d'en faire construire, et de pouvoir pendant long-temps en suivre le travail. J'ai d'abord observé que le travail des hommes qui les font tourner en marchant dans leur intérieur, est très-pénible, et ensuite que les résistances passives qu'elles éprouvent sont plus nombreuses et plus considérables que l'on ne s'imagine sans un mûr examen.

80. Durant le blocus de Venise, qui eut lieu en 1813, la direction militaire de la marine de cette ville me donna ordre de construire huit moulins, qui furent mis en mouvement par les forçats, que l'on faisait marcher dans des roues à tambour : ces moulins travaillèrent jour et nuit pendant près de quatre mois. Les forçats qu'on y employait recevaient une nourriture plus abondante qu'à l'ordinaire ; on avait surtout le soin de leur fournir une ration suffisante de vin. Chacun d'eux ne travaillait que six heures par jour, en agissant alternativement pendant une heure et se reposant pendant l'heure suivante. Néanmoins, il n'y eut qu'un petit nombre de ces malheureux qui purent continuer ce travail pendant plusieurs jours de suite ; la plupart, quoique vigoureux, après deux ou trois jours devenaient malades, et tous n'étaient assujettis à ce pénible travail qu'avec beaucoup de répugnance.

81. J'ai observé que, lorsque le diamètre d'une roue à tambour est douze fois plus grand que celui du treuil, et quand l'action de cette roue doit être régulière et de longue durée, il faut opposer à chaque homme qui agit dans la roue une résistance qui ne soit équivalente qu'à 150 kilogrammes à peu près, en supposant toujours que cette résistance soit appliquée à l'extrémité du diamètre du treuil. J'ai observé aussi que, lorsque l'homme qui marche dans la roue n'a à surmonter qu'une telle résistance, il marche ordinairement avec la vitesse de 7 décimètres par seconde, et que le degré d'élévation qu'il prend dans la roue est tel que, si on abaisse une perpendiculaire qui parte de son rayon horizontal, et rencontre le centre de gravité de l'homme, cette perpendiculaire se trouve à peu près au tiers de la longueur du rayon; ainsi, le bras de levier qui se rapporte à la puissance motrice, est dans ce cas à celui de la résistance comme quatre est à un.

82. Si pourtant l'action de cette même roue ne devait avoir qu'une courte durée, ou si elle devait être entremêlée de longs et fréquens repos, on pourrait opposer à chaque homme une résistance même de 500 kilogrammes; mais alors la vitesse de sa marche sera tout au plus de 1 à 2 décimètres par seconde, et il sera obligé de s'élever tellement dans la roue, que son centre de gravité corresponde aux deux tiers du rayon horizontal, au moins.

83. Dans le cas qu'on doive employer une roue à tambour pour élever des fardeaux à une hauteur considérable, il ne faut pas calculer l'effet de chaque homme à plus de 380 kilogrammes.

84. La grandeur plus convenable d'une roue à tambour est de 5 à 6 mètres. On n'en doit jamais construire de plus petites que de 4 mètres; car les hommes seraient exposés, en marchant, à se frapper la tête contre le treuil. Quand la résistance opposée

à la roue à tambour exige l'action de trois ou quatre hommes, il est bien plus avantageux de donner beaucoup de largeur au tambour et de placer tous les hommes de front, que d'augmenter le diamètre, et faire marcher ces mêmes hommes sur deux rangs. Si l'on emploie six hommes, on est alors obligé de les disposer sur deux rangs, et de donner à la roue un diamètre de 7 mètres au moins. Les grandes roues des machines à curer, décrites par *Bélidor*, ont 8 mètres de diamètre, parce qu'elles sont destinées à recevoir l'action simultanée de six ou même de huit hommes.

85. J'ai reconnu que, pour faire un grand effort avec une roue à tambour, il vaut mieux que quelques-uns des hommes moteurs agissent à l'extérieur, au lieu d'être tous entassés dedans. Dans ce cas, on environne la roue par des cordes retenues en deux ou trois endroits par des crochets, ou bien on dispose de distance en distance des tasseaux, et les hommes tirent les cordes ou empoignent les tasseaux.

86. Les hommes qui marchent dans une roue à tambour produisent des percussions réitérées qui excitent des oscillations en divers sens, capables de l'ébranler peu à peu, de la disloquer et d'en désunir les parties. Ces effets nuisibles sont plus apparens dans les grandes roues que dans les moyennes. On les évite en partie par l'exactitude de la construction et par les soins qu'on prend à contrebuter les parties les plus exposées à fléchir, ou à ressentir des mouvemens vicieux. Néanmoins il est bien rare qu'on n'y reconnaisse après un long travail quelques dislocations, qui, si l'on n'y prend garde, et si l'on n'y remédie promptement, vont toujours en augmentant. Ces dislocations dégradent non seulement les machines, mais elles absorbent une portion de la quantité de mouvement communiqué à la roue.

87. Les observations que j'ai faites m'induisent à croire que,

quand il s'agit d'un travail régulier et de longue durée, on doit préférer les manivelles coudées mues par des bras de levier, aux roues à tambour, pourvu que leur mouvement soit régularisé convenablement par de bons volans; car, 1°. l'action des hommes est moins pénible; 2°. les frottemens y sont moindres; 3°. le mécanisme est plus simple, plus économique et moins sujet aux dégradations. Les roues à tambour sont néanmoins utiles lorsque le travail doit être court et vigoureux, comme dans le cas du levage de lourds fardeaux à une hauteur médiocre; elles sont également utiles quand le travail, quoique de longue durée, est cependant entremêlé de fréquens repos, comme dans les machines à curer.

Roues à double force.

88. Cette espèce de treuil représenté par la figure 1, (planche XVI), a été inventée par M. *Auguste Albert*. Deux roues parallèles sont placées sur son axe et liées ensemble non-seulement par huit doubles croix de Saint-André, mais encore par un nombre suffisant de marches ou fuseaux, soutenus par des taquets engagés à mi-bois dans chacune de ses marches. Sur le devant de la roue, à droite et à gauche, deux poteaux à échelons soutiennent une cabane dont le plancher A, élevé horizontalement à la hauteur de l'axe, reçoit les ouvriers qui, lors du travail, se placent l'un à côté de l''autre sur les fuseaux, à environ 5 décimètres au-dessus de la ligne horizontale; ils posent leurs mains sur la roue, comme s'ils montaient à l'échelle. Ils marchent extérieurement sans cependant changer de place, et ils font ainsi tourner la roue. Ils sont pourvus de bretelles comme les porteurs de brancard, et ces bretelles, attachées au plancher de la cabane, leur servent de point d'appui. Près des fuseaux, presque sous les pieds de l'ouvrier, on a disposé une traverse de bois, *c*, à laquelle sont adaptées des bascules: de manière que, si

l'ouvrier y pose les pieds, il est déplacé et reporté aussitôt sur le plancher de la cabane; cette manœuvre rapproche aussitôt contre la roue deux arcs-boutans E, qui se placent sous les fuseaux à l'endroit des taquets, et arrêtent immédiatement la roue. A la cabane et à portée de l'ouvrier, se trouve une manivelle avec une bascule, à laquelle est attachée une corde K, qui passe par-dessus des poulies LLL et s'attache aux deux arcs-boutans E. Lorsque l'on fait faire un demi-tour à cette manivelle, les arcs-boutans sont dégagés et ils restent en cet état, jusqu'à ce qu'on leur ait fait faire un autre demi-tour en sens inverse pour les remettre.

89. Cette roue a les avantages suivans : les ouvriers, se trouvant toujours placés à l'extrémité horizontale du levier, agissent avec tout le poids de leur corps dans l'endroit le plus avantageux possible; ils peuvent encore y ajouter l'action de leurs muscles, à l'aide des bretelles. Enfin les suites fâcheuses qu'entraîne la position journalière des ouvriers sans cesse exposés au froid, à la pluie, à l'ardeur du soleil, sont évitées. La cabane ou abri dans laquelle ils sont placés est couverte et fermée sur les côtés. Cette estimable invention de M. *Albert* est digne des éloges que lui ont donnés plusieurs mécaniciens distingués et, entre autres, M. *O'Reilly*; dans ses Annales des arts et manufactures; mais elle n'est pas exempte d'inconvéniens. Les ouvriers étant placés de front sur les fuseaux ou marches de cette roue, il faut qu'elle ait une largeur considérable. Cette largeur rend la roue très-pesante, augmente les frottemens, et rend son transport d'un lieu à l'autre presque impraticable. Voilà pourquoi son utilité semble circonscrite aux machines fixes qui doivent travailler habituellement dans un même endroit. Les hommes qui agissent sur cette roue ne fatiguent pas moins que ceux qui montent, le long d'un escalier très-droit, chargés d'un fardeau

égal au poids de leur propre corps. D'ailleurs le mouvement, plus uniforme que celui des roues à chevilles, en est cependant un peu plus lent. Je crois qu'il n'y a que des hommes très-vigoureux qui puissent faire usage des bretelles et pour un travail de courte durée. Les bascules ont l'inconvénient d'arrêter tout d'un coup la machine, et de lui faire éprouver de fortes secousses, qui ne peuvent que lui être nuisibles.

90. On a fait une très-belle application de cette roue à la grue du port du Louvre et à une machine pour remonter les bateaux sur la Seine.

CHAPITRE VI.

Treuils à deux parties.

91. Ce treuil, que nous avons déjà indiqué (23), et qui est représenté par la figure 2 (planche III), a deux parties dont les diamètres sont inégaux; la corde s'enveloppe sur la plus grosse, tandis que, simultanément, elle se développe de l'autre côté. La puissance motrice, agissant sur un treuil ordinaire, fait équilibre à une résistance, dont le rapport est égal à celui qu'il y a entre le rayon de la circonférence que décrit en tournant le point auquel elle est appliquée, et le rayon du treuil. Sur le treuil à deux parties le rapport d'équilibre de la puissance à la résistance est comme la moitié de la différence des deux rayons du treuil au rayon de la manivelle. Ce rapport est d'autant plus grand, que les rayons des deux portions actives du treuil sont plus rapprochés de l'égalité. Il peut être augmenté indéfiniment sans affaiblir le cylindre, sans altérer sa construction,

et sans que les résistances passives soient augmentées, excepté le frottement produit par la charge des appuis, qui doit dans cette machine, comme dans toutes les autres, être subordonné à l'intensité des forces qui agissent sur lui. Ce treuil a encore l'avantage de pouvoir soutenir le fardeau qu'il soulève, sans encliquetage. On comprendra facilement la raison de cette propriété remarquable, si on réfléchit qu'en diminuant considérablement la vitesse de la résistance, on rend sa quantité de mouvement si petite, qu'elle n'est plus capable de surmonter les frottemens et la roideur de la corde.

92. Ce treuil si ingénieusement inventé, si simple, et d'une construction si peu coûteuse, donne le moyen à une petite force de vaincre une très-grande résistance; ce même effet peut s'obtenir, comme tout le monde sait, avec d'autres appareils mécaniques; mais aucun d'eux ne peut le produire avec une même facilité, ni une même simplicité. Il ne faut cependant pas croire qu'il n'ait aussi des inconvéniens notables. Ce treuil exige un câble d'une longueur considérable pour élever un fardeau à une médiocre hauteur, et il exige en outre que tous les tours de cette corde puissent se disposer régulièrement sans s'accumuler. Il en résulte qu'à mesure que le treuil tourne, les directions des deux portions de la corde qui soutiennent la poulie mobile, deviennent de plus en plus obliques, et s'éloignent de la verticale. Cette obliquité augmente singulièrement les frottemens de la corde et s'oppose à sa flexion avec une force toujours croissante. On diminue ces deux inconvéniens en séparant les deux parties d'inégal diamètre du treuil, et en les disposant de la manière indiquée par la figure 1 (planche III). On voit que chaque cylindre a une roue d'égal diamètre; dans tous les deux, une corde sans fin les embrasse, ce qui fait que l'un de ces cylindres ne peut tourner sans que l'autre tourne aussi dans le

même sens, et le câble s'enveloppera d'un côté tandis qu'il se développera de l'autre. Si les deux roues étaient dentées, et qu'il y eût un pignon entre deux, le même effet aurait lieu.

93. Le treuil à deux parties, à cause des deux inconvéniens indiqués, ne peut être avantageusement employé qu'à soulever un fardeau à la hauteur de deux mètres au plus, lorsque ces deux parties sont réunies, comme dans la figure 2 (planche III), et à la hauteur de trois à quatre lorsqu'elles sont séparées, figure 1. C'est donc un défaut de l'adapter à des grues mobiles, pour élever des fardeaux à des hauteurs considérables, dans les édifices en construction, comme on le voit pratiqué dans deux modèles qui existent dans la collection du Conservatoire des arts et métiers.

94. On peut appliquer convenablement ce treuil aux grands pressoirs, qui exigent beaucoup de force; ils en deviendront beaucoup plus simples et moins coûteux; ils seront plus vigoureux, et agiront plus régulièrement que ceux où l'on fait usage d'un grand bras de levier mû par une vis, comme on le pratique ordinairement.

95. On peut s'en servir, avec beaucoup d'utilité, pour arracher les pieux enfoncés fortement dans le terrain. Je ne connais aucun moyen d'effectuer cette opération d'une manière plus facile, plus expéditive et moins dangereuse. Les *arrache-pieux* dont on se sert communément, sont composés d'un grand levier soutenu par une espèce de chèvre. On peut voir les dessins de ces arrache-pieux dans les Œuvres de *Bélidor* et de *Péronnet*, et dans le recueil de charpenterie publié par *Krafft*. La manœuvre qu'ils demandent est embarrassante et fait perdre beaucoup de temps; leur transport d'un lieu à l'autre est difficile et long à effectuer; d'ailleurs, quand on en fait usage, il arrive souvent des accidens fâcheux aux ouvriers. Le

treuil à deux parties, employé comme arrache-pieux, a tous les avantages opposés aux inconvéniens indiqués. J'ai fait construire neuf *arrache-pieux* de cette espèce, dans l'arsenal de Venise, avec lesquels on a arraché plus de mille huit cents pieux de bois de sapin et de larix de dix à douze mètres de longueur, qui avaient été enfoncés dans le terrain, à la profondeur de quatre à six mètres, par des moutons pesant à peu près cinq cents kilogrammes. L'institut de Milan me décerna une médaille pour cette utile pratique, et pour d'autres que j'ai introduites dans les travaux qui me furent confiés.

96. Le treuil à deux parties a été appliqué avec succès aux chèvres qui servent à placer les canons sur leurs affûts, et à la grue fixe, construite au bord de la Seine pour décharger les bateaux entre le Pont des Invalides et le Gros-Caillou.

CHAPITRE VII.

Des Poulies.

97. On appelle *poulie* une petite machine composée d'un ou plusieurs rouets placés dans une chape, et soutenus par un axe qui leur permet de tourner librement. Il y a différentes espèces de poulies; celle qui se nomme simple n'a qu'un seul rouet. La poulie composée en a deux, trois et quelquefois six; on lui donne communément le nom de *moufle*. Les moufles de grandes dimensions, et qui doivent produire de puissans efforts, s'appellent, en terme de marine, *caliorne*. L'assemblage de deux poulies ou moufles, l'une fixe et l'autre mobile, sur lesquelles on fait passer et repasser autant de fois le même câble qu'il y a de rouets dans les deux, s'appelle *palan*.

98. Les chapes, ou caisses de poulie, se font en bois d'orme ou bien en fer. Elles varient de formes, selon la quantité de rouets qu'elles doivent contenir, et selon l'usage et l'espèce de la poulie. Celle des poulies simples en bois, figure 5 (planche III), a la forme d'un melon aplati; elle est creusée, entre ses côtés plats, d'une mortaise qui passe tout à travers, pour recevoir un rouet cylindrique, sur lequel doit tourner la corde. Elle a, sur ses deux faces ou joues extérieures, une rainure ou goujure pour être propre à recevoir l'*estrope*, ou le cordage servant à la lier à quelque objet, ou bien à y tenir un croc de fer pour saisir un fardeau; il y a en sus un trou qui la perce de part en part, pour recevoir l'essieu sur lequel doit tourner le rouet. Cette chape ou caisse de la poulie excède en largeur le diamètre du rouet, de deux fois l'épaisseur de ce même rouet. Sa longueur ou hauteur, c'est-à-dire, le sens dans lequel est la goujure ou rainure, pour recevoir l'estrope qui doit l'attacher, a une dimension un peu plus grande, ayant besoin dans cette partie de plus de force. On appelle poulie simple à croc celle qui est garnie d'un croc de fer destiné à saisir une élingue ou un fardeau, pour former la partie inférieure d'un palan. La poulie simple *estropée à fouet* est celle qui a un long bout de corde servant à l'amarrer, où l'on veut la mettre en action. La *poulie coupée*, appelée vulgairement *galoche*, est celle dont la caisse est ouverte d'un côté, de façon qu'on peut ôter la corde qui y est garnie de dessus le rouet de la poulie, sans avoir besoin de dépasser cette corde jusqu'au bout.

99. Les moufles ou poulies à plusieurs rouets les ont placés, ou sur un même essieu à côté l'un de l'autre, figure 3, 7, ou bien sur plusieurs essieux les uns au-dessus des autres, figures 6, 8, 10; si les essieux sont parallèles, il faut que les rouets placés au-dessous soient plus petits que les autres; le

diamètre de ceux-là n'est ordinairement que les deux tiers de celui des grands, pour faciliter le passage des tours de cordage; sans cela les parties de ce cordage qui montent et qui descendent, s'entremêleraient et frotteraient fortement les unes contre les autres. Cette différence de grandeur des rouets dans un même moufle est cependant un inconvénient nuisible, en ce qu'elle augmente dans les petits les frottemens et la résistance qu'oppose le câble à sa flexion. On y remédie en disposant les essieux et les rouets de manière à ce qu'ils soient perpendiculaires les uns aux autres, figure 10, et placés dans deux plans qui se coupent à angle droit. Dans les caisses des moufles à plusieurs rouets, l'épaisseur du bois qui sépare chaque mortaise égale les deux tiers de l'épaisseur du rouet.

100. On appelle *poulie double* à tourniquet celle dont la caisse est garnie de fer, et munie d'un croc qui tourne dans la monture de la poulie *a*, figure 2; elles servent pour poulie inférieure d'un palan. Leur propriété est d'empêcher que les branches de cordage qui passent dans les différens rouets, ne se croisent et ne se tordent, ou que, lorsque ce cas arrive, on puisse les décroiser facilement, en tournant la poulie sur son tourniquet.

101. Les figures 7, 10, 13 représentent des moufles avec des chapes ou caisses en fer; elles occupent moins de place que celles en bois. Mais je crois que, pour les moufles de grande dimension, on doit préférer celles en bois convenablement fortifiées par des frettes et des bandes en fer: premièrement, parce qu'elles sont plus sûres; car l'expérience prouve que le fer est bien plus sujet que le bois à des accidens imprévus, tels que de se rompre ou de se plier; les défauts du bois sont apparens et s'aperçoivent au premier abord, au lieu que ceux du fer échappent quelquefois à la vue des personnes les plus exercées. Secondement, le peu d'épaisseur qu'on donne ordinaire-

ment aux cloisons des chapes en fer, qui séparent les rouets, pour ne pas les rendre excessivement pesantes, laisse lieu à craindre que les cordages, en frottant continuellement contre eux-mêmes, et contre le tranchant des fers qu'ils heurteraient dans leur marche, ne se déchirassent et ne se fussent usés en peu de temps.

102. Les rouets des petites poulies se font ordinairement en bois de gaïac; le bois de sorbier est aussi fort bon pour cet usage. Par économie on en fait quelquefois en bois d'orme, mais elles ne réussissent pas très-bien. C'est une pratique qui mérite d'être adoptée, que de tremper les rouets de bois dans l'huile bouillante, et de les y laisser séjourner pendant quelque temps. Pour plus de solidité on garnit souvent les rouets de gaïac avec des dez en cuivre dans le milieu. Les dez en acier offrent de grands avantages, à cause de la dureté de la matière; on a trouvé le moyen d'économiser les frais, en employant l'acier plaqué sur le fer. On peut tremper ces dez avant d'en garnir les rouets; ce qui leur donne une grande dureté. Les rouets des fortes poulies se font en bronze. Pour en diminuer le poids, et pour que les joues de ces rouets n'aient pas un frottement trop considérable contre la cloison de la caisse, on les creuse en laissant un rebord vers la circonférence, et un autre vers le trou qu'il y a dans le milieu. Les essieux des poulies se font en chêne vert ou en fer; il est important qu'ils soient parfaitement cylindriques.

103. Le rouet a ordinairement une épaisseur égale au diamètre du cordage. Il est creusé, sur sa circonférence, d'environ un dixième de son épaisseur, pour que le cordage s'y adapte mieux et l'embrasse plus étroitemeut. Le diamètre du rouet égale six fois son épaisseur.

104. Quand on érigea la statue équestre en bronze de Louis XV,

les moufles, dont on fit usage, avaient une particularité qui mérite d'être imitée toutes les fois qu'il s'agira d'élever de grands fardeaux, qu'il est important de préserver de tout accident. (Voyez fig. 13, pl. III) On avait fait mettre, sur les faces latérales de ces moufles, un double rang de crochets tournans en tous sens, et qui, dans le cas où l'un des câbles serait venu à se fatiguer et eût menacé de quelque accident, auraient pu donner le temps et la facilité de retirer du moufle le câble endommagé, et d'y en substituer un autre plus frais, sans être obligé de remonter ou descendre le fardeau qui se serait trouvé déjà suspendu; il n'était besoin que de jeter des câbles de force sur les crochets, de les y fixer, et de lier, ou, pour mieux parler la langue de l'art, de *brayer* ensemble les deux moufles inférieurs ou supérieurs. On pourrait employer le même moyen, s'il arrivait jamais que les anses sur lesquelles les moufles sont suspendus, essuyassent quelque dérangement, ou qu'il s'y fît quelque fracture; les moufles une fois *brayés*, toute crainte de danger s'évanouit.

105. Les moufles, outre la propriété qu'ils ont commune avec les autres machines que nous avons décrites, d'augmenter la force de l'agent-moteur, en ont une autre très-utile qui leur est particulière: c'est que le câble qui passe et repasse dessus dans les palans, et autant de fois qu'il y a de rouets, fait soutenir à chacune de ses branches une portion égale du poids, de sorte que, si les moufles du palan sont à trois rouets, chaque branche du câble ne soutient que la sixième partie du fardeau; et, s'ils sont à six rouets, seulement la douzième partie. Cette propriété est précieuse, surtout lorsqu'on doit faire de grands efforts, parce qu'on n'est pas obligé d'employer des câbles d'une grosseur démesurée, et dont l'usage serait aussi désavantageux qu'incommode. Cette même propriété rend très-utile la com-

binaison des moufles avec le cabestan, et avec les diverses espèces de treuils horizontaux.

106. On peut, en combinant deux palans entre eux, produire de puissans efforts. Ce moyen est très-utile dans une foule d'occasions; mais surtout quand on doit opérer dans des locaux très-resserrés. On attache simplement un palan au bout libre du câble d'un autre palan. Il faut que le câble de celui qui agit immédiatement sur la résistance, soit beaucoup plus fort que l'autre. L'effort total, que l'on obtient avec cet appareil, se calcule en multipliant les efforts partiaux de chacun des palans; de manière que, si les moufles qui le composent ont quatre poulies, l'appareil fera équilibre à une résistance soixante-quatre fois plus forte que la puissance motrice. Cet appareil est sujet à un inconvénient très-grave qu'il ne faut pas dissimuler. Si les moufles du premier palan viennent à se toucher, lorsque le fardeau n'a encore parcouru qu'un espace très-médiocre, on ne peut alors continuer le levage du fardeau sans détacher ces moufles, et les fixer à un autre point de la corde; opération qui ne se fait point sans embarras et parfois sans danger.

CHAPITRE VIII.

Des vis, des coins, des crics et des machines à engrenage.

107. La grande solidité qu'on peut donner à une vis simple, le peu d'étendue qu'elle occupe, les avantages d'agir en tous sens, et dans les lieux les plus resserrés, rendent cette machine préférable à toutes les autres, pour communiquer un

petit mouvement à de lourdes masses. M. *Carburi*, lorsqu'il transporta l'énorme rocher de Saint-Pétersbourg, se servit de cette machine avec le plus grand succès pour le soulever et le soutenir, quand il fallut introduire sous cette montagne ambulante le traîneau sur lequel elle était posée pendant sa marche. Ces vis représentées figure 2, (planche VI,) étaient de fer; elles entraient dans un écrou de cuivre; elles soutenaient un chape aussi de cuivre, et s'appuyaient avec deux cercles de fer et quatre boulons qui les traversaient sur une pièce de bois dur. Ainsi, lorsqu'on avait posé les vis sous le rocher, et qu'on tournait leur levier, ces vis, par leur mouvement, dans un sens ou dans un autre, élevaient ou abaissaient le rocher. Elles avaient une force si puissante, que M. *Carburi* n'en employa que douze pour soutenir le fardeau du rocher, qui pesait près d'un million et demi de livres métriques. Ainsi chacune soutenait une charge de cent vingt-cinq milliers.

107 *bis*. Les coins sont souvent utiles pour donner un petit mouvement à de pesantes masses. Un coin combiné avec une vis placée sous la culasse d'un canon, l'élève et l'abaisse avec la plus grande aisance. L'effort produit par un coin vigoureusement frappé est énorme. Tous les instrumens tranchans, tels que haches, couteaux et rasoirs, ne sont, à proprement dire, autre chose que des coins. On remarque dans la forme des rasoirs un artifice fort ingénieux : les parties latérales, qui forment l'angle tranchant, au lieu d'être deux lignes droites, sont des portions concaves de courbes, ce qui fait que cet angle est moindre que ne peut l'être aucun angle rectiligne, et conséquemment le fil du rasoir coupe beaucoup mieux. La nature même a composé les ongles chez plusieurs animaux de courbes qui se réunissent à l'extrémité, et les rendent de cette manière très-aigus, et capables d'entrer promptement et

avec facilité dans le corps des autres animaux qu'ils veulent saisir et déchirer. Les coins servent aussi pour comprimer; lorsqu'on fait des amarrages de corde, on y introduit un coin qui les serre très-fortement.

108. De toutes les machines pour élever de gros fardeaux, le cric est une des mieux imaginées et des plus commodes. C'est, pour l'ordinaire, une pièce de bois d'un mètre de hauteur, et épaisse de 0,12, sur 0,24 (voyez figure 6, planche VI), dans laquelle est enchâssée une crémaillère, qui par le moyen d'une manivelle, à l'axe de laquelle est adapté un pignon qui engrène avec cette crémaillère, sort et rentre pour hausser le fardeau ou pour le remettre en son repos. La crémaillère est longue d'un mètre; la gorge qui est en fer au haut de la crémaillère a quatre centimètres de hauteur, et le vide de la gorge a un décimètre. La crémaillère porte en bas une espèce de crochet qui sort, et qui est très-commode pour lever immédiatement les fardeaux qui sont appuyés contre terre; ce crochet a 0,13 de saillie. Le cric est garni de deux frêtes par en haut, de la hauteur de deux centimètres, et de deux en bas de même qualité; il a une plaque de fer sous le pied, et trois pitons ou pointes de fer; il a aussi une manivelle de fer et un cliquet de fer à crémaillère pour l'arrêter. Un tailleur de pierre, avec un cric, dresse, renverse et remue, dans tous les sens, lui seul et avec beaucoup d'aisance, une pierre du poids de deux à trois milliers métriques. Un voiturier, avec cette même machine, relève une voiture qui est chargée quelquefois d'un fardeau de plus de cinq milliers métriques, lorsque l'essieu, ou une des roues a éprouvé quelque accident.

109. Les machines à engrenage donnent la facilité à une petite force de mouvoir un fardeau très-lourd. On lit dans les *Mémoires d'artillerie* de *Surirey de Saint-Remy*, que

M. *Thomas*, avec un treuil à engrenage, vint à bout, non-seulement de traîner du port Saint-Nicolas, qui est devant le Louvre, jusqu'aux ateliers de M. *Coysevox* (*a*) au vieux Louvre; mais de monter, à lui seul, les deux blocs de marbre qui, dans l'année 1700, ont servi à faire ces deux chevaux, qui depuis ont été conduits à Marly, et qui maintenant sont placés sur la place Louis XV, à l'entrée des Champs-Élysées, et font l'admiration des curieux. Chaque bloc pesait 45 milliers métriques, et l'on avait employé auparavant deux cents hommes pour en mener un seul. C'est avec la même machine qui est décrite dans le *Recueil* approuvé par l'académie, où elle est désignée par le nom de *cric circulaire*, et qui n'était autre chose qu'un treuil horizontal de 2 mètres de longueur, mû par un engrenage, qu'une manivelle à volant faisait tourner; c'est, dis-je, avec cette machine que M. *Thomas*, étant à Toulon, l'année 1705, fit traîner ensemble quinze pièces de canon de trente-six et de vingt-quatre livres de boulet chacune, dont le poids total était de 46 milliers métriques, par la force de quatre hommes seulement. C'est aussi avec cette machine que, pendant le siége de Nice, il tira de la mer, au port de Ville-Franche avec quatre hommes, une barque carcassière, pesant au moins 150 tonneaux, c'est-à-dire, 150 milliers métriques, qui était submergée, et que près de trois cents hommes n'avaient pu faire remuer avec quatre cabestans.

110. Je suis persuadé néanmoins que les inconvéniens auxquels sont assujetties ces sortes de machines, surpassent ordinairement leurs avantages. D'abord les engrenages, quoique

---

(*a*) Il paraît que *Surireyde Saint-Remy* a confondu les groupes des Tuileries faits effectivement par M. *de Coysevox*, et qui sont placés des deux côtés de la grille du Pont-Tournant, avec ceux de Marly, qui furent sculptés pr M. *Coustou*.

exécutés avec toute la perfection possible, sont exposés à des dérangemens, qui demandent souvent un temps considérable pour être réparés, ce qui occasione des interruptions fâcheuses dans le travail et quelquefois même des accidens funestes. Ces espèces d'accidens sont moins redoutables lorsqu'on traîne un grand fardeau, sur un plan horizontal, que quand on l'élève verticalement, et qu'il se trouve suspendu à la machine; alors si, par malheur, un des axes fléchit ou se rompt, si une dent des roues se brise, la machine éprouve une secousse si violente, qu'elle produira probablement la rupture des autres dents, la désorganisation de la machine, et la chute du fardeau. Les personnes qui ont pu suivre le travail des moulins et autres grandes machines à engrenage, savent bien qu'il est rare qu'une dent se brise sans que plusieurs autres aient le même sort. Les crémaillères et les cliquets qu'on adapte ordinairement aux machines à engrenage, et qu'on emploie pour élever les fardeaux, pourront peut-être diminuer les mauvais effets de cette secousse; mais ils ne pourront pas les prévenir entièrement, et dans le cas même qu'ils le pussent, qu'on juge quelle doit être la difficulté et l'embarras de redescendre le fardeau, ou de l'étayer à la hauteur où il se trouve par une charpente assez solide, pour le soutenir par elle-même jusqu'à ce qu'on ait pu remettre la machine dans le cas de pouvoir agir de nouveau. Voilà pourquoi il faut éviter, autant qu'il est possible, l'usage des machines à engrenage pour élever les fardeaux. Il n'y a que le cas où le local n'est pas suffisant, pour disposer et faire agir d'autres machines, qui puisse autoriser à les employer. D'ailleurs ces sortes de machines, outre qu'elles sont très-coûteuses, ne peuvent ordinairement servir à d'autres opérations qu'à celle pour laquelle on les a construites, et on ne doit raisonnablement entreprendre des constructions qui exigent de grands frais, que quand on ne peut

les remplacer par d'autres, ou bien quand elles doivent servir à des usages qui se renouvellent très-souvent.

111. Quand on veut employer une machine à engrenage, pour tirer ou élever un grand fardeau, il faut se servir d'un câble, d'une telle grosseur, qu'il devient embarrassant; ou, si on ne veut pas que le fardeau soit soutenu sur une seule longueur du câble, il faut combiner la machine avec des poulies qui rendent en partie inutile l'usage de l'engrenage.

112. Toutes les plus grandes opérations qui ont rapport aux mouvemens des fardeaux, peuvent s'effectuer avec les machines simples que nous avons décrites. Ainsi les mécaniciens qui veulent parvenir à un but vraiment utile, doivent chercher plutôt à améliorer la construction et la disposition de ces machines, et surtout à trouver les moyens de s'en servir avec facilité, sûreté et économie, que de s'occuper à en inventer de nouvelles, qui seraient probablement superflues, si elles n'étaient défectueuses, comme la presque totalité de celles de ce genre qui se trouvent dans l'ouvrage de *Ramelli*, et dans les autres recueils de machines.

CHAPITRE IX.

Moyens de produire quelques grands effets sans machines.

113. LES Égyptiens, pour transporter leurs obélisques, creusaient un canal depuis le Nil jusqu'aux carrières, qui n'en étaient pas éloignées. Ce canal passait sous l'obélisque même, étendu en travers, ayant ses deux extrémités appuyées sur le terrain des deux côtés. Ils introduisaient, sous cet obélisque,

deux forts bateaux liés ensemble et chargés de briques; ils plaçaient des pièces de bois entre les bateaux et la partie inférieure de l'obélisque, puis ils déchargeaient les briques. Les bateaux, devenant plus légers, étaient obligés de s'élever, et en même temps d'élever aussi l'obélisque, qui alors, se trouvant libre, pouvait être conduit par eau jusqu'à l'endroit où l'on devait l'ériger.

114. L'imitation de l'ingénieux procédé des Égyptiens a donné naissance à l'invention des chameaux, dont on se sert dans les ports de mer qui ont peu de profondeur à leur embouchure, pour faire sortir et entrer les vaisseaux quand leur immersion est plus grande que cette profondeur. On appelle chameaux des espèces de bâtimens qu'on place des deux côtés d'un vaisseau. Ils ont un fond plat et fort large; un de leurs côtés concave suivant précisément la courbure du vaisseau, pour qu'il puisse s'y appliquer intimement et l'embrasser dans le plus grand nombre de points possible; les autres côtés sont perpendiculaires au fond. Pour adapter les deux chameaux aux flancs du vaisseau, on y introduit d'abord de l'eau, jusqu'à ce que leur immersion soit de niveau avec celle de la quille du vaisseau; on fait ensuite passer sous cette quille plusieurs grelins qui remontent dans l'intérieur des chameaux de chaque côté, et vont aboutir à des treuils placés sur les ponts des chameaux; ces treuils, après avoir tendu fortement les grelins, les retiennent d'une manière inébranlable. Lorsque les chameaux sont réunis solidement au vaisseau, et semblent faire avec lui un seul corps, des pompes épuisent l'eau qu'ils contiennent. A mesure que l'épuisement a lieu, tout le système, devenant de plus en plus léger, est obligé de s'élever. De bons chameaux, solidement construits, peuvent réduire à quatre mètres l'immersion d'un vaisseau qui était auparavant de sept mètres. Lors-

qu'enfin le vaisseau est sorti du port, on introduit de l'eau dans les chameaux pour lui faire reprendre son immersion naturelle, puis on les détache.

115. On pourrait obtenir des pressoirs d'une force extraordinaire, en chargeant et déchargeant une espèce de bateau, sur lequel on placerait les matières que l'on voudrait presser, lesquelles, tandis que le bateau chercherait à s'élever, s'appuyeraient contre un très-fort plancher fixé au-dessus. On obtiendrait cet effet d'une manière encore plus simple par le moyen du flux de la mer.

116. *Vitruve*, dans le douzième livre de son architecture, rapporte l'invention dont Ctésiphon, architecte du fameux temple de Diane d'Éphèse, se servit pour transporter les fûts des colonnes ïoniques qui avaient cinquante-quatre pieds romains de hauteur, c'est-à-dire, dix-sept mètres à peu près, et dont le poids devait être de plus de deux cent cinquante milliers métriques. Cet architecte, n'osant pas se fier à aucune espèce de chariots, parce qu'il prévoyait que les chemins étant peu fermes, la pesanteur des fardeaux qu'il avait à conduire ferait enfoncer les roues, assembla quatre pièces de bois; deux de ces pièces étaient jointes en travers avec les deux autres qui étaient plus longues, et égales au fût de chaque colonne. Il ficha, aux deux bouts des colonnes, des boulons de fer à *queue d'hirondelle*, et les y scella avec du plomb, ayant mis dans les pièces de bois transversales des anneaux de fer dans lesquels les boulons entraient. De plus, il attacha aux deux bouts de cette espèce de chape des bâtons de chêne; en sorte que, lorsque les bœufs la tiraient par ces bâtons, les boulons qui étaient dans les anneaux de fer y pouvaient tourner librement pour faire que les fûts des colonnes roulassent aisément sur la terre. L'invention de Ctésiphon est prise des cylindres avec lesquels on aplanit les

allées des jardins; et il ne fut pas difficile de la faire réussir, à cause de la disposition favorable du lieu. C'était une campagne plane, où il n'y avait ni à monter ni à descendre; et il n'y avait que peu de distance depuis les carrières jusqu'au temple, qui était à huit mille pas de là. Sur le modèle de cette invention, *Métagènes*, fils de Ctésiphon, en fit une autre pour amener les architraves. Il forma des roues de quatre mètres ou environ, et il enferma les deux bouts des architraves dans le milieu des roues. Il y mit aussi des boulons et des anneaux de fer, en sorte que, lorsque les bœufs tiraient, les boulons mis dans les anneaux de fer fesaient tourner les roues; et, les architraves, qui y étaient enfermés comme des essieux, furent traînés et amenés sur le lieu, de même que les fûts des colonnes.

117. *Vitruve* rapporte que, de son temps, dans un temple d'*Apollon*, la base de la statue colossale de ce dieu s'étant trouvée rompue, dans la crainte qu'on eut que la statue ne tombât et ne fût brisée, on fit marché avec *Paconius* pour tailler dans la carrière une autre base; elle était longue de quatre mètres, large de trois et épaisse de deux : *Paconius* s'était piqué d'honneur de la faire apporter d'une manière nouvelle; et il ne s'y prit pas comme *Métagènes*, quoiqu'il imitât en quelque chose la manière dont il s'était déjà servi : il fit deux roues d'environ cinq mètres, et y enchâssa les bouts de la pierre; ensuite il fit passer des fuseaux de bois de la grosseur de 0,06, d'une roue à l'autre; en sorte qu'étant disposés en rond, et distans l'un de l'autre seulement de 0,4, ils enfermaient la pierre. Autour de tous ces fuseaux, il entortilla un câble qu'il fit tirer par les bœufs, qui, en devidant le câble, faisaient tourner les roues; mais la difficulté était de faire marcher cet appareil par un chemin droit, car il se détournait toujours à

droite ou à gauche, et il fallait le redresser. *Paconius* fut si long-temps à le tourner et retourner, qu'il ne put fournir à la dépense nécessaire.

118. On peut, en mouillant les cordes qui soutiennent un poids, l'élever à une hauteur quelconque; l'expérience a démontré qu'elles se raccourcissent alors, quoique le poids soit très-fort. On mouille d'abord les cordes, puis on étaye bien solidement le poids à la hauteur où leur raccourcissement l'aura soulevé. Les cordes, en se séchant, se rallongent et reprennent leur première longueur; alors on les tire, on les tend fortement et on les mouille une seconde fois, ce qui doit nécessairement produire une seconde élévation du fardeau. Continuant à opérer de cette manière un certain nombre de fois, le fardeau se trouvera enfin à la hauteur où l'on veut le faire parvenir. *Sabellico* rapporte, dans son histoire de Venise, décade 1, livre 7, chapitre II, que, l'année 1164, le sénat voulut faire élever sur la place de Saint-Marc les deux colonnes de granit, de grandes dimensions, qu'on y admire actuellement, et dont l'une porte le lion de Saint-Marc, et l'autre la statue de Saint-Théodore. Ces colonnes qui ont des dimensions un peu plus fortes que celles du portique du Panthéon à Rome, pèsent chacune plus de 45 milliers métriques. Le sénat, ne trouvant aucun architecte qui consentît à se charger de les dresser, publia une ordonnance qui promettait à quiconque entreprendrait, et réussirait dans cette opération, de lui accorder la récompense qu'il demanderait, pourvu qu'elle fût raisonnable et admissible. Alors plusieurs se présentèrent. Ce fut un *Lombard* qui l'effectua en mouillant les cordes qui tenaient la partie du haut de la colonne attachée à un échafaud placé à côté.

119. Si une poutre très-pesante se trouve en équilibre sur un point fixe qui soutienne son centre de gravité, on pourra l'éle-

ver avec un petit effort; car, si on la charge d'un côté, l'autre opposé se soulèvera; on place alors des coins dessous, puis on charge du côté qui est élevé; en repétant cette même manœuvre, la poutre se trouve insensiblement élevée à une certaine hauteur, sans machines ni instrument.

120. Un simple bûcheron, appelé *Lasciafami* de Craveggia, ma patrie, se chargea de conduire une quantité considérable de grosses pièces de charpente; il fallait traverser un vallon escarpé et très-profond; cette circonstance, qui devait rendre le transport très-coûteux et très-difficile, lui fit imaginer un moyen simple qui le rendit au contraire extrêmement facile et en même temps économique. Il tendit un câble au travers du vallon, au moyen de deux moulinets placés un de chaque côté; le câble, étant parfaitement tendu, s'inclinait un peu vers le côté où les pièces de bois devaient être conduites. Deux *poulies à crocs* passaient sur le câble; on accrochait une pièce de bois à ces crocs, auxquels était attachée une corde qui passait sur une *poulie de renvoi* amarrée au moulinet qui était du côté le plus bas; en tirant la corde, avec un très-faible effort on faisait parcourir à la pièce de bois toute la longueur du câble; et, quand elle était arrivée, on la décrochait; on tirait les poulies de l'autre côté avec une seconde corde qui y était attachée; on accrochait encore une nouvelle pièce de bois qui traversait le vallon de la même manière; et ainsi passèrent toutes les autres en très-peu de temps.

121. Il était question à Venise, il y a quelques années, de redresser le clocher de l'église de Saint-Georges des Grecs, qui est sensiblement incliné; plusieurs personnes proposèrent des moyens plus ou moins ingénieux, mais aucun n'était comparable pour la simplicité et pour la beauté de l'invention à celui qui fut imaginé par M. *Crovato*, maître maçon. Il proposa de

placer, du côté opposé à celui vers lequel penche le clocher, de fortes pièces de bois posées verticalement dans des espèces d'augets remplis de sable: ces pièces qui devaient être en assez grand nombre, pour soutenir une grande partie du poids de la tour, auraient été introduites sous une espèce de châssis fortement assujetti à la partie inférieure du clocher; après avoir ensuite coupé, de ce même côté, une certaine hauteur de muraille, on aurait aussi fait une coupure, mais en forme triangulaire, aux côtés latéraux; et enfin, le sable contenu dans les augets sortant peu à peu par des trous égaux pratiqués à chacun d'eux, aurait permis au clocher de s'affaisser insensiblement, et sans la plus petite secousse, du côté opposé à celui de l'inclinaison, jusqu'à ce qu'il fût parfaitement redressé.

CHAPITRE X.

Des résistances nuisibles qui tendent à diminuer l'effet actif des machines.

122. Ces espèces de résistances sont produites par cinq causes: 1°. par l'obliquité de traction; 2°. par le défaut de solidité des points d'appui et de leurs supports; 3°. par les secousses irrégulières et le changement brusque de vitesse ou de direction; 4°. par les frottemens; 5°. par la roideur et les aspérités des cordes.

Obliquité de traction.

123. Dans tous les traités élémentaires de mécanique, on démontre par la théorie du parallélogramme des forces, que le

rapport qu'il y a entre les quantités de mouvement qui coopèrent à l'effet utile, quand la force motrice agit perpendiculairement, et lorsqu'elle opère suivant une direction plus ou moins oblique, est le même que celui qu'il y a entre le rayon et le cosinus de l'angle d'obliquité, ou bien (ce qui revient au même) si on suppose un triangle rectangle formé par les lignes suivantes : 1°. par celle de traction oblique ; 2°. par celle de traction directe ; 3°. par une ligne qui part de l'extrémité de la première, et tombe perpendiculairement sur l'autre. Dans ce triangle, l'hypothénuse représente la traction oblique, et le côté qui fait angle avec elle, la directe ; ce côté sera d'autant plus court, que l'angle qui est celui d'obliquité sera plus grand. Le rapport des efforts utilement employés dans les deux cas par la force motrice sera égal à celui qu'il y a entre l'hypothénuse et le même côté.

124. L'obliquité de traction est nuisible aux machines, non-seulement parce qu'elle diminue leur effet actif, mais aussi parce qu'elle dirige contre les appuis et les centres de mouvemens cette portion de l'effort du moteur qu'elle leur a soustraite, et l'emploie à augmenter les frottemens, et à disloquer les parties des machines, qui n'ont pas une solidité suffisante pour lutter victorieusement contre cet effort.

125. Le moyen le plus simple, dont on se sert pour procurer à la force motrice l'avantage de la traction directe, dans les apparaux mécaniques destinés aux mouvemens des fardeaux, est celui des poulies fixes appelées *poulies de renvoi.*

126. Si une puissance agit toujours dans une direction verticale à l'extrémité d'un bras de levier qu'elle fasse tourner autour d'un point central, elle ne pourra lui être perpendiculaire qu'autant qu'il est horizontal, et elle deviendra de plus en plus oblique, à mesure qu'il s'éloignera de cette position en montant

ou en descendant. On remédie à cet inconvénient en plaçant à l'extrémité du levier un arc de cercle, sur lequel la corde ou la chaîne que la puissance tire, pendant son élévation et son abaissement, peut se plier et se déplier. On voit des applications de cet artifice dans les machines hydrauliques, et dans les pompes à feu.

127. Quand plusieurs lignes de traction partent d'un seul point, elles deviennent obliques et conséquemment désavantageuses. Cet inconvénient se fait particulièrement remarquer dans les *sonnettes à tiraude* dont on fait usage pour enfoncer les pieux dans le terrain: le câble qui soutient le mouton, et qui passe sur une poulie placée au sommet de la charpente de cette sonnette, a un nœud auquel sont attachées autant de cordes qu'il doit y avoir d'ouvriers pour élever le mouton: cette disposition occasione des obliquités de traction d'autant plus considérables, que les ouvriers sont nombreux. J'ai mis en usage, avec beaucoup de succès, dans les travaux qui me furent confiés, plusieurs sonnettes à tiraude, où je suis parvenu à supprimer cet inconvénient, et à rendre toutes les lignes de traction directes et parallèles; pour cet effet j'ai substitué d'abord à la poulie qui n'avait que 0, 5 mètres de diamètre, une roue de 1$^{\text{mèt.}}$, 3. Je fis ensuite suspendre au nœud du câble, où étaient liées toutes les cordes, un cercle placé horizontalement qui avait 2 mètres de diamètre; les cordes étaient nouées sur la circonférence et sur les diamètres de ce cercle à distances égales, de sorte que tous les ouvriers tiraient perpendiculairement et sans se gêner entre eux. Mais le cercle n'aurait pas pu conserver son horizontalité, si l'on n'avait eu la précaution d'attacher les extrémités des cordes qui partaient de divers points de la circonférence à un point du câble placé à peu près à 1 mètre au-dessus du centre du cercle, de sorte qu'elles formaient un cône à

large base. Le mouton de chacune de ces sonnettes pesait 400 kilogrammes. Avant que je n'eusse imaginé le moyen que je viens de décrire, on employait vingt ouvriers pour le manœuvrer; après, douze suffisaient. L'épargne de huit ouvriers sur vingt ne fut pas le seul avantage produit par cette amélioration. Les câbles dont on fit usage, qui avaient à peu près deux décimètres de circonférence, étaient encore en bon état après deux mois de travail continuel, tandis qu'auparavant ils étaient incapables de servir au bout de sept à huit jours. Je ne dois pas cependant dissimuler que cette modification des sonnettes augmente de plus du double la dépense de construction; mais on en obtient une compensation bien grande par l'économie du travail actif, surtout lorsqu'il doit être de longue durée. Je ne dois pas non plus laisser ignorer qu'il est indispensable de placer au-dessus de la roue un demi cercle concentrique fixe: éloigné de 2 centimètres à peu près du bord de sa circonférence, il sert à empêcher le câble de bondir hors de la cannelure de la roue, ce qui inévitablement arrive si on néglige cette précaution.

Défaut de solidité des points d'appui.

128. Par le nom de points d'appui je désigne ici non-seulement les *centres* de mouvement de toutes les parties mobiles des machines et les *supports* qui les soutiennent; mais aussi les points fixes auxquels sont amarrées les machines lorsqu'elles travaillent, et les plans sur lesquels elles sont posées. La plus légère réflexion suffit pour faire concevoir combien il importe que tous ces points d'appui aient une solidité bien supérieure aux efforts qu'ils devront éprouver; car les conséquences les plus funestes pourraient être le résultat des fautes d'attention et de prévoyance à cet égard. Ainsi, on doit toujours examiner

avec soin, avant de se servir des moufles, si les estropes, les chapes et les axes sont en bon état, et si leur force est suffisante. Quand on emploie les cabestans, il faut que les câbles avec lesquels on les amarre soient forts et de bonne qualité; il faut qu'ils soient enveloppés à plusieurs doubles sur les parties les mieux affermies de la chèvre, et retenus par de forts pieux battus obliquement en sens opposé de l'effort, ou par d'autres objets fixes et d'une solidité assurée. Mais il ne suffit pas que les points d'appui soient solides, il faut encore qu'ils soient inflexibles et qu'ils ne se laissent pas comprimer; il est évident que, sans cela, ils absorberaient en pure perte une quantité considérable de l'effort de la force mouvante.

Secousses irrégulières et changement brusque de direction ou de vitesse.

129 et 130. Les secousses irrégulières sont d'autant plus nuisibles aux machines, qu'elles sont plus fréquemment répétées; elles travaillent à désunir les parties qui en forment l'assemblage, à les déplacer et à les désorganiser: elles dépendent ordinairement des vices de construction. Toutes les fois que les axes ne sont pas droits, bien cylindriques et sans aspérités; qu'ils ne sont pas placés exactement au centre des roues ou des treuils; que la partie de leurs supports où ils tournent n'a pas une forme régulière et parfaitement analogue à la leur: toutes les fois que la circonférence des roues ne sera pas exactement circulaire, et que, ne se trouvant pas dans un plan rectiligne, elle aura une double courbure vicieuse; toutes ces fois, dis-je, le mouvement sera irrégulier et les secousses auront lieu.

131. Un mouvement irrégulier exige indispensablement une force mouvante capable de surmonter la résistance, quand elle

à sa plus grande vigueur. Cette force n'emploie toute son énergie que pendant quelques momens : ensuite, n'éprouvant qu'une plus légère opposition, elle en laisse une partie dans l'inactivité : ainsi, l'effet actif sera d'autant moindre, que les irrégularités de mouvement seront plus grandes. Deux motifs bien importans doivent exciter les mécaniciens à éviter, autant qu'il est possible, les irrégularités de mouvement : 1°. la conservation des machines ; 2°. le plus grand effet actif.

132. Nous avons déjà fait observer (76) que c'est une très-grande faute que d'arrêter tout d'un coup le mouvement des machines ; c'en est une aussi d'en changer brusquement la direction et la vitesse. Il faut cependant remarquer qu'il y a des espèces de mouvemens où ces changemens sont inévitables : tels sont les mouvemens alternatifs du *va-et-vient*, où la puissance motrice est obligée périodiquement de détruire les quantités de mouvement qu'avaient déjà acquises les parties qui ont un mouvement de cette espèce, et de leur en communiquer de nouvelles dans le sens opposé. Voilà pourquoi il faut éviter de se servir de cette espèce de mouvement lorsqu'on peut, sans nuire à l'effet, le remplacer par le circulaire. Cela n'est pas toujours possible ; car il y a plusieurs sortes de machines où l'alternatif est inévitable, telles que les pompes et autres : alors il faut diminuer la vitesse des parties qui ont cette espèce de mouvement, autant que le permet la nature des opérations qui doivent être effectuées par les machines.

Des Frottemens.

133. Dans les machines, la charge ou pression qu'éprouvent les essieux, ou les centres de mouvement, est la cause première et inévitable des frottemens : ainsi, pour déterminer exactement leur valeur, il faut d'abord bien connaître cette charge ;

savoir ensuite quel est le rapport entre elle et la portion de force que les frottemens absorbent, suivant les qualités de matières qui composent les essieux et les supports qui les soutiennent; et enfin rechercher les distances qu'il y a entre le centre de mouvement et les points où sont appliquées les forces mouvantes, et où les frottemens agissent.

134. Pour nous former des idées claires de la charge des essieux, supposons une poulie fixe, sur laquelle passe une corde; attachons aux deux bouts de la corde deux poids égaux : il est évident que la charge des appuis de l'essieu de la poulie est égale à la somme de ces deux poids. Si maintenant nous en détachons un pour y en substituer un plus pesant, celui-ci entraînera l'autre; et alors la charge aura pour valeur le *momentum* du poids moteur, c'est-à-dire la combinaison de sa masse avec sa vitesse, et la simple masse de l'autre poids; je dis la simple masse, parce que la vitesse s'exerçant dans un sens opposé à sa pesanteur, ne peut contribuer à augmenter la pression. Cette pression est la plus grande possible lorsque les forces qui la produisent sont parallèles et conspirantes; si elles font angle, la pression diminue à mesure que l'angle est plus ouvert, jusquà ce qu'étant en opposition, elle n'a plus que la valeur de la différence des pressions partielles exercées par les forces opposées. Le rapport des pressions des forces parallèles, et des forces qui font angle, est le même que celui qu'il y a entre la somme de deux côtés et la diagonale d'un parallélogramme, dont un des angles serait égal à celui formé par les directions des forces, et dont la longueur des côtés serait proportionnelle aux pressions produites. Il faut, autant qu'il est possible, faire agir les forces à distances égales entre les points d'appui, pour qu'ils aient une charge uniforme à supporter. Mais on doit surtout éviter de les placer d'un seul côté hors de ces points, parce que, dans ce cas, les

forces qui produisent la pression, acquièrent un levier qui la rend d'autant plus vigoureuse qu'il est long.

135. Les appuis d'un cabestan à treuil vertical éprouvent une pression bien moindre que celle des appuis des treuils horizontaux. Les forces motrices qui agissent sur les cabestans peuvent être disposées en sens directement opposé, de manière qu'ils ne souffrent d'autre pression que celle de la simple résistance. Au contraire, les forces appliquées aux treuils horizontaux, ayant leurs lignes de direction conspirantes avec celle de la pesanteur du fardeau qu'on élève, elles chargent les appuis conjointement avec elle.

136. On ne pouvait acquérir des notions utiles sur les frottemens que par des expériences très-multipliées, très-variées, et en se servant d'appareils semblables ou parfaitement analogues à ceux dont on fait usage en pratique; cette méthode embarrassante, pénible et coûteuse, était cependant la seule qui pût augmenter la somme de nos connaissances sur un objet si important. M. *Coulomb* s'en est servi, avec le plus grand succès, dans les précieuses recherches qu'il a faites sur les frottemens et sur la roideur des cordes, recherches qui lui ont mérité le double prix décerné par l'Académie des Sciences en 1781, et lui ont mérité en même temps la reconnaissance de toutes les personnes à qui les progrès de la mécanique ne sont pas indifférens. On en trouve le détail dans l'intéressant mémoire inséré dans le volume dixième des *Mémoires* des savans étrangers. Nous allons en donner un extrait et en faire connaître les principaux résultats.

137. M. *Coulomb* examine d'abord le frottement des surface splanes, qui glissent l'une sur l'autre : le frottement, dans ce genre de mouvement, peut être envisagé sous deux points de vue, ou lorsque les plans sont posés l'un sur l'autre depuis un

certain temps, et que par une traction, dans la direction du plan de contact, l'on veut les détacher, ou lorsque ces plans ont déjà un certain degré de vitesse uniforme, et que l'on cherche le frottement sous ce degré de vitesse. Dans le premier cas, où l'on veut faire glisser une surface sur une autre, en la sortant de l'état de repos, le frottement peut dépendre de quatre causes : 1°. de la nature des matières en contact; 2°. de l'étendue des surfaces; 3°. de la pression que ces surfaces éprouvent; 4°. de la longueur du temps écoulé depuis que les surfaces sont en contact. Lorsque les surfaces glissent l'une sur l'autre avec un certain degré de vitesse, le frottement peut encore dépendre des trois premières causes susdites, et en outre de la vitesse plus ou moins grande des plans en contact.

138. La cause physique de la résistance opposée par le frottement au mouvement des surfaces qui glissent l'une sur l'autre, ne peut être expliquée que par l'engrenage des aspérités des surfaces, qui ne peuvent se dégager qu'en se pliant, qu'en se rompant, qu'en s'élevant à la sommité les unes des autres; ou bien il faut supposer que les molécules des surfaces des deux plans en contact acquièrent, par leur proximité, une cohérence qu'il faut vaincre pour produire le mouvement.

139. Les expériences de M. *Coulomb* lui ont indiqué que, dans les bois posés l'un sur l'autre sans aucune espèce d'enduit, la résistance au frottement croît pendant quelques secondes, mais qu'elle atteint sa limite après une ou deux minutes de repos, et que le frottement, parvenu à sa limite, est toujours proportionnel à la pression. Dans le frottement de deux surfaces de bois de chêne, suivant le fil du bois, le rapport de la pression au frottement, quand les surfaces de contact sont grandes, est comme 2, 28 à 1, et quand elles sont réduites aux plus petites dimensions, comme 2,39 à 1; ce qui prouve que la grandeur des surfaces

n'y influe que d'une manière insensible. Quand les surfaces frottantes sont de chêne et de sapin, le rapport est comme 1,50 à 1
de sapin sur sapin . . . . 1,78 à 1
d'orme contre orme . . . . 2,18 à 1

Le frottement de chêne contre chêne, lorsque le fil du bois se recroise, est au frottement, suivant le fil du bois, comme 3,76 à 2,34.

140. Dans les frottemens des bois contre les métaux, l'accroissement relativement aux temps du repos, marche très-lentement; les variations sont quelquefois à peine sensibles après quatre ou cinq secondes; il est rare que le frottement ait acquis son *maximum* avant quatre ou cinq heures de repos, quelquefois même il n'y est pas parvenu après cinq ou six jours. Le rapport de la pression ou frottement du fer sur le bois de chêne, suivant le fil
du bois, est comme . . . . 4,86 à 1
du cuivre sur chêne, ... 5,50 à 1
du fer contre fer, ... 3,60 à 2
du fer contre cuivre jaune, ... 3,80 à 1
En réduisant les surfaces de contact aux plus petites
dimensions possibles, fer contre cuivre. . . . . . 6, à 1
le frottement de métaux contre métaux acquiert toute son intensité dans un moment.

141. Lorsque les surfaces sont garnies d'un enduit, le temps du repos nécessaire pour que la force qui doit vaincre la résistance de la ténacité due au frottement parvienne à sa limite, est un temps long mais variable; il dépend de la dureté de l'enduit; il est plus long avec un enduit de suif qu'avec un enduit de vieux oing; il dépend encore de la nature et de l'étendue des surfaces du contact. Si ces surfaces sont réduites à de très-petites dimensions, le frottement arrive à sa limite dans très-peu de secondes. Le rapport de la pression au frottement du chêne

contre chêne, les surfaces étant enduites de suif nouveau à chaque opération, est comme 2,3 à 1 après 5 ou 6 jours de repos,
comme 3,6 à 1 après deux heures de repos,
comme 6,4 à 1 après une minute de repos,
comme 10,1 à 1 après trois secondes de repos,
comme 26 à 1 lorsque le temps du repos est nul.

Le vieux oing très-mou ralentit fort peu l'accroissement du frottement, qui parvient à son *maximum* presque en aussi peu de temps que si les bois glissaient à sec l'un sur l'autre. L'on observe de plus qu'avec ce genre d'enduit le frottement parvenu à son *maximum*, est quelquefois plus considérable que lorsque les bois glissent à sec l'un sur l'autre; il semble que, outre l'engrenage des surfaces, qui se fait ici presque aussi librement, à cause du peu de consistance du vieux oing, que s'il n'y avait pas d'enduit, il y a encore une cohésion entre les surfaces, augmentée par l'intermède de l'enduit, qui occasione une résistance étrangère au frottement. Dans les frottemens du fer et du cuivre enduits de suif, on observe un accroissement pendant les premiers momens du repos; mais le temps de cet accroissement est court, et l'accroissement peu considérable. L'étendue des surfaces n'y influe nullement. Le rapport de la pression au frottement, quand le repos est nul, est comme 11 à 1. Lorsque l'on essuie avec beaucoup de soin les lames de fer et celles de cuivre qui frottent l'une sur l'autre, et que l'on y met un enduit abondant d'huile d'olive, le frottement paraît atteindre son *maximum* après un instant de repos. Il se trouve constamment égal au sixième de la pression. Avec le vieux oing il est rarement moindre que le septième de la pression; il augmente à mesure que la consistance du vieux oing diminue.

142. Lorsque les surfaces sont très-étendues relativement aux pressions, le frottement paraît augmenter avec les vitesses;

mais lorsque les surfaces sont très-petites relativement aux pressions, le frottement diminue à mesure que les vitesses augmentent. Cependant M. *Coulomb* pense que; dans tous les cas de pratique, l'on peut regarder le frottement comme étant indépendant du degré de vitesse. Lorsqu'un pied carré de chêne frottant *sur chêne* avec enduit de suif, éprouvera une pression depuis deux quintaux jusqu'à quatre ou cinq milliers de livres, l'on pourra prendre 9 à 1 pour le rapport de la pression au frottement; mais, quand elle n'est que de vingt-cinq livres par pied carré, pour lors la pression est au frottement comme 5, 7 à 1; et, la vitesse croissant, le frottement augmente. Lorsque les surfaces de contact sont réduites aux plus petites dimensions, l'on trouve pour lors que le frottement diminue, relativement aux pressions, à mesure que l'on augmente les pressions; l'on trouve aussi que le frottement diminue à mesure qu'on augmente les vitesses.

143. Le rapport de la pression au frottement des bois, glissant sur le sens de leur fil, est une quantité constante tant que les pressions ne sont pas énormes relativement à l'étendue des surfaces de contact; et, lorsque la surface est réduite à un angle arrondi, non-seulement le frottement diminue sensiblement relativement aux pressions, mais il diminue aussi en augmentant les vitesses. Ces deux effets n'ont pas lieu lorsque, les bois glissant l'un sur l'autre, le fil du bois se recroise à angle droit; quoique la surface de contact soit réduite à des dimensions angulaires, le nombre qui mesure le rapport de la pression au frottement reste toujours une quantité constante : pour le sapin,

sur sapin il est comme . . . . 6 à 1
orme contre orme, il est comme . . . . 10 à 1

Dans les frottemens des bois et des métaux, ils augmentent avec la vitesse de la manière la plus sensible. Le rapport de la pres-

sion au frottement du fer contre chêne, avec une vitesse insensible, est comme . . . . 1,3 à 1

avec la vitesse d'un pied par seconde, il est comme . 5,8 à 1

Les expériences de M. *Coulomb* indiquent que les forces de traction croissant suivant une progression arithmétique, les vitesses croissent suivant une progression géométrique. Ceci n'est vrai que pendant les premières heures où l'on soumet les surfaces frottantes à l'expérience: ensuite les frottemens ne croissent plus dans une aussi grande proportion relativement aux vitesses; il arrive même qu'après que le mouvement d'une très-petite surface a été continué pendant long-temps sous de très-grandes pressions, la vitesse cesse en entier d'avoir de l'influence sur le frottement.

144. Les seuls enduits qui puissent convenir pour diminuer le frottement des bois, sont le suif et le vieux oing; l'huile ne peut être employée que pour les métaux. Comme les enduits sont des corps mous, ils n'adoucissent le frottement des surfaces que parce qu'ils remplissent les cavités, et qu'interposés entre les surfaces, ils les soutiennent à une certaine distance l'une de l'autre. De là il arrive que, sous de grandes pressions, les enduits les plus mous sont toujours les plus mauvais; que, sous de grandes pressions, lorsque les surfaces de contact sont réduites à des angles arrondis, les enduits diminuent très-peu le frottement : on remarque encore que lorsque les surfaces de contact sont grandes, le suif, après quelque temps de travail, pénètre dans les pores, et ne s'oppose plus qu'imparfaitement à l'engrenage des parties; en sorte que, dans plusieurs expériences répétées sans renouveler les enduits, M. *Coulomb* a trouvé une augmentation de frottement très-considérable. Le frottement des surfaces qui glissent l'une sur l'autre, garnies d'un enduit, est

presque toujours proportionnel à la pression, et dépend uniquement de la nature des surfaces et de la cohérence des enduits; l'augmentation de la vitesse ne l'augmente que d'une manière insensible. Le rapport de la pression au frottement du chêne contre chêne enduit de suif, renouvelé à chaque opération lorsque la surface est en mouvement, est comme 27 à 1; mais, lorsque les surfaces sont très-petites, l'enduit n'est plus en état de soutenir la pression qu'éprouve chaque point de contact; le suif pénètre dans l'intérieur des pores du bois, ou est chassé en avant par la partie antérieure: par là, les deux surfaces se rapprochent presque autant que s'il n'y avait point d'enduit. Dans ce cas, les expériences de M. *Coulomb* lui ont indiqué que le rapport de la pression au frottement n'est pas plus grand que 16 ou 17 à 1. Lorsque les bois enduits de suif glissent par le travers du fil du bois, et que les surfaces de contact ont de l'étendue, l'on trouve que le frottement est le même que celui trouvé en pareil cas, suivant le fil du bois. Lorsque les surfaces pénétrées de suif par des opérations antérieures, restent onctueuses après avoir été essuyées, ou même conservent leur ancien suif, mais écrasé et appliqué contre le bois, on trouve un rapport moindre de 16 à 1. Lorsque les métaux glissent sur des bois enduits de matières graisseuses, le frottement en paraît très-adouci; et l'on produit des vitesses insensibles, avec des degrés de traction temens: mais pour peu que l'on veuille augmenter les vitesses, moins considérables que dans toutes les autres espèces de frotle rapport de leur augmentation et du degré de traction qui produit cette augmentation, suit à peu près les mêmes lois observées dans le frottement des métaux glissant à sec sur le bois; si l'on ne renouvelle pas les enduits à chaque expérience, ils se coagulent, changent de nature, et le frottement augmente succes-

sivement. Le rapport de la pression au frottement, dans les premiers degrés de vitesse du fer sur chêne, est comme 35 à 1

du cuivre jaune sur chêne . . . . 47 à 1

quand les surfaces sont onctueuses, mais non enduites du fer sur chêne . . . . 14 à 1

Ce dernier rapport est constant, et plus ou moins de vitesse n'y influe qu'insensiblement. Cette espèce de frottement est analogue à celui de toutes les machines, où des axes de fer tournent dans des boîtes de bois.

145. Le frottement des surfaces métalliques en mouvement, glissant sans enduit l'une sur l'autre, est indépendant de l'étendue de ces surfaces. Dans les frottemens des bois, les forces nécessaires pour les vaincre après un certain temps de repos, sont souvent quadruples de celles nécessaires pour entretenir le mouvement continu uniforme: ici on trouve la même intensité de frottement, soit qu'il faille détacher les surfaces après un temps quelconque de repos, soit qu'il faille entretenir une vitesse uniforme. Le rapport de la pression au frottement du fer contre

fer, est comme . . . . 3, 6 à 1

du fer contre cuivre, ... 4, 2 à 1

Ces rapports ne peuvent être regardés comme exacts que lorsque les surfaces sont neuves et très-étendues; car en réduisant les surfaces de contact aux plus petites dimensions possibles, ce rapport varie en s'approchant de celui de 6 à 1, qu'il ne joint que lorsque, par un frottement continu, le cuivre et le fer ont pris tout le poli dont ils peuvent être susceptibles.

146. Lorsque les surfaces métalliques en mouvement glissent l'une sur l'autre avec un enduit interposé, le rapport de la pression au frottement dépend de la nature de l'enduit et du degré de vitesse : quand elles sont enduites de suif, le frottement di-

minue beaucoup sous les grandes pressions, à mesure que la vitesse augmente ; ce qui ne doit être attribué qu'à la dureté et à la consistance du suif : car, si on essuie les surfaces, et si on y répand un enduit d'huile d'olive, le frottement n'est que très-peu diminué sous les grandes pressions, en passant d'une vitesse insensible à une vitesse de 4 ou 5 pouces par seconde. Le rapport de la pression au frottement, dans les mouvemens au-dessous d'un pouce par seconde du fer contre fer, enduit de suif

nouveau, est comme . . . . 10 à 1
du fer contre cuivre . . . . 11 à 1

du fer contre fer 8 à 1 avec enduit de suif et d'huile non renouvelé. Avec les enduits de vieux oing, le frottement n'a jamais été moindre que le neuvième de la pression. Lorsque les surfaces sont enduites de suif, et qu'elles ont une grande étendue, le frottement dénature le suif, et augmente insensiblement à mesure que l'on continue le travail sans renouveler l'enduit. Cependant M. *Coulomb* l'a toujours trouvé moindre que le huitième de la pression ; mais lorsque le suif est noyé d'huile, et que les surfaces sont petites, cet effet est moins sensible. Les surfaces de contact étant réduites aux plus petites dimensions possibles, les vitesses influent très-peu sur les frottemens. Le rapport de la pression au frottement, dans les surfaces onctueuses

du fer sur cuivre, est comme . . . . 8,7 à 1
surfaces enduites de suif, ... 8,9 à 1
même enduit avec une couche d'huile . . . . . 7,6 à 1

147. Voici maintenant le résumé que M. *Coulomb* donne des principaux résultats de toutes ses nombreuses expériences sur le frottement des plans.

1°. Le frottement des bois glissant à sec sur les bois oppose, après un temps suffisant de repos, une résistance proportionnelle aux pressions : cette résistance augmente sensiblement dans

les premiers instans de repos; mais, après quelques minutes, elle parvient ordinairement à son *maximum* ou à sa limite.

2°. Lorsque les bois glissent à sec sur les bois avec une vitesse quelconque, le frottement est encore proportionnel aux pressions; mais son intensité est beaucoup moindre que celle que l'on éprouve en détachant les surfaces après quelques minutes de repos: l'on trouve, par exemple, que la force nécessaire pour détacher et faire glisser deux surfaces de chêne après quelques minutes de repos, est à celle nécessaire pour vaincre le frottement, lorsque les surfaces ont déjà un degré de vitesse quelconque, comme 9,5 à 2,2.

3°. Le frottement des métaux glissant sur les métaux sans enduit est également proportionnel aux pressions; mais son intensité est la même, soit qu'on veuille détacher les surfaces après certain temps de repos, soit qu'on veuille entretenir une vitesse uniforme quelconque.

4°. Les surfaces hétérogènes, telles que les bois et les métaux, glissant l'une sur l'autre sans enduit, donnent pour leur frottement des résultats très-différens de ceux qui précèdent; car l'intensité de leur frottement, relativement au temps de repos, croît lentement, et ne parvient à sa limite qu'après quatre ou cinq jours et quelquefois davantage; au lieu que, dans les métaux, elle y parvient dans un instant, et, dans les bois, dans quelques minutes. Cet accroissement est même si lent, que la résistance du frottement dans les vitesses insensibles est presque la même que celle que l'on surmonte en ébranlant ou détachant les surfaces, après trois ou quatre secondes de repos. Ce n'est pas encore tout: dans les bois glissant sans enduit sur les bois, et dans les métaux glissant sur les métaux, la vitesse n'influe que très-peu sur les frottemens; mais ici le frottement croît très-sensiblement, à mesure que l'on augmente les

vitesses : en sorte que le frottement croît à peu près suivant une progression arithmétique, lorsque les vitesses croissent suivant une progression géométrique.

148. Les belles recherches de M. *Coulomb* sur les frottemens ne se sont pas limitées à celui des plans frottant les uns sur les autres : il les a dirigées encore sur les frottemens des axes. Il a trouvé que, lorsque des axes de fer frottent dans des boîtes de cuivre sans enduit, la vitesse n'influe que d'une manière insensible; le rapport de la pression au frottement est comme 6 à 1. S'ils sont enduits de suif bien pur, sans mélange et sans fibres, qui est de tous les enduits celui qui réussit le mieux pour adoucir le frottement des machines, le rapport de la pression au frottement est comme 11 à 1. Dans le mouvement des axes, on a trouvé en général le frottement moindre que dans celui des plans. Il semble en effet que, dans les mouvemens de rotation, les parties en contact peuvent se désengrener bien plus facilement que lorsque les surfaces glissent l'une sur l'autre. Voici encore une remarque qui distingue ces deux espèces de frottemens. Lorsqu'on fait passer plusieurs fois des lames de cuivre sur des lames de fer sans renouveler l'enduit, le suif s'use et le frottement augmente; l'on éprouve cet effet beaucoup moins sensiblement dans le frottement des axes. Quand la vitesse est considérable, le frottement diminue un peu, à mesure que la vitesse augmente; mais, comme la presque totalité des machines de rotation employées pour mouvoir des fardeaux sont manœuvrées à bras d'hommes, et n'élèvent les fardeaux qu'avec de petites vitesses, la diminution de frottement due à l'augmentation de vitesse ne doit presque jamais influer dans la pratique : d'ailleurs cette diminution du frottement, en augmentant les vitesses, n'a lieu qu'avec des enduits mous, tels que le vieux oing et l'huile. Le rapport de la pression

au frottement des axes de fer sur chapes de cuivre, avec enduit de vieux oing, est comme 8 à 1; des axes de fer sur chapes de cuivre enduites d'huile d'olive, ou seulement onctueuses, telles à peu près qu'elles se trouvent dans l'usage des machines qui n'ont pas été enduites depuis long-temps, le rapport est

comme	8	à 1
même un peu plus petit, mais jamais au-dessous de	$7\frac{1}{2}$	à 1
axe de chêne vert, boîte de gaïac, enduits de suif	26	à 1
à surfaces onctueuses	17	à 1
axe de chêne vert, boîte d'orme, enduits de suif .	33	à 1
(c'est celui dont le frottement est moindre,)		
à surfaces onctueuses	20	à 1
axe de buis, boîte de gaïac	23	à 1
à surfaces onctueuses	14	à 1
axe de buis, boîte d'orme, enduits de suif	29	à 1
à surfaces onctueuses	20	à 1
axe de fer, boîte de bois, enduits de suif	20	à 1

On a observé que le rapport de la pression au frottement des axes de chêne vert, dans les boîtes de gaïac, des poulies qui ont travaillé pendant long-temps, n'est plus de 17 à 1, mais se trouve entre 16 et 13 à 1.

149. Pour calculer maintenant la valeur de la portion de force que les frottemens des axes absorbent dans les machines en mouvement, il faut d'abord rechercher, comme nous l'avons dit (133 et 134), quelle est la pression totale qu'éprouvent les axes de chaque essieu. Les résultats des expériences de M. *Coulomb* nous donneront le rapport de la pression au frottement, suivant la qualité des surfaces frottantes; puis il faut en multiplier la quantité qui en résultera par la distance qu'il y a entre le centre de rotation et le point où le frottement dirige son action, et diviser ce produit par la di-

stance qu'il y a entre le même centre de rotation et le point où la force mouvante est appliquée. Je suppose, par exemple, que ce soit un treuil horizontal avec des axes de fer soutenus par des supports de cuivre, dont il faille rechercher la valeur des frottemens; je suppose en outre que la pression que les axes supportent, soit équivalente à trois milliers; que la distance entre le centre de rotation et le point où le frottement agit, soit de 0$^{\text{mèt.}}$, 1; que la distance de ce centre au point où le moteur est appliqué soit de 2 mètres: les expériences de M. *Coulomb* donnent, pour les frottemens des axes de fer sur cuivre, le rapport de 8 à 1 (148). Ainsi la valeur du frottement, dans notre cas, sera de 375 livres, qui, multipliées par 1 et divisées par 20, donneront 18 livres et $\frac{3}{4}$ pour la quantité de la force du moteur absorbée par le frottement.

150. Dans les grandes machines, on emploie généralement des axes de fer qui roulent sur des supports de cuivre. Cependant les expériences de M. *Coulomb* prouvent que le frottement du fer sur le cuivre est presque triple de celui du fer sur le bois: il est donc évident que, sous ce rapport, les supports de bois dur doivent être préférés; mais on peut avoir des doutes sur leur solidité et sur leur durée. J'ai entrepris des expériences relatives à cet objet important, et je puis assurer mes lecteurs que j'ai trouvé, sous ce dernier point de vue comme sous le premier, les supports de bois dur préférables à ceux de cuivre. Dans plusieurs grandes machines dont les axes supportaient des pressions de quelques milliers, j'ai fait substituer aux anciens supports de cuivre, de nouveaux supports en chêne vert qu'on avait laissé séjourner dans l'huile bouillante. J'ai reconnu, après un travail continuel de deux à trois mois, qu'ils n'avaient pas éprouvé d'altération sensible, et qu'ils étaient bien moins sujets à s'user et à se dégrader que les autres.

Roideur des cordes.

151. Dans une corde qui s'enveloppe sur un treuil, on doit distinguer deux espèces de résistances : 1°. le frottement dû à l'aspérité de sa surface, qui l'empêche de glisser et d'être entraînée par le poids qu'elle soutient, quoique fort grand, pourvu qu'il y ait une petite force qui la retienne du côté opposé. Cette espèce de résistance, loin d'être nuisible, est au contraire utile, parce qu'elle permet à un seul homme de retenir et de faire filer le câble qui s'enveloppe sur un cabestan, ou sur un treuil horizontal (58 et 71). 2°. L'opposition à se plier suivant la courbure du treuil; cette résistance qu'on désigne sous le nom de *roideur*, absorbe une portion de la force exercée par le moteur. M. *Coulomb* a fait des expériences sur cette résistance, qu'il a détaillées dans le mémoire que nous venons de faire connaître, et dont voici les principaux résultats. Les forces nécessaires pour plier les grosses cordes neuves sur un rouleau ou une poulie, sont proportionnelles au carré des diamètres de ces cordes. Dans celles demi-usées, on les trouve proportionnelles à la puissance $\frac{3}{2}$ du diamètre. *Amontons* et *Désaguilliers* les avaient précédemment trouvées dans les cordes très-petites et très-flexibles, proportionnelles au simple diamètre. Elles sont à peu près en raison directe des tensions des cordes, et inverse des diamètres des treuils. Elles paraissent indépendantes de la rapidité des mouvemens, et la vitesse plus ou moins grande de la corde et du treuil n'entrent, dans le calcul des machines, que pour des quantités qui peuvent être négligées dans la pratique, surtout dans les machines où des poids de plusieurs milliers ne sont jamais élevés qu'avec des degrés de vitesse très-lents. Cependant il faut avouer qu'il n'est pas exactement vrai que l'accroissement de vitesse n'augmente pas les résistances dues à la roideur des cordages :

cette augmentation paraît surtout sensible lorsque les cordes ne sont tendues que par des forces au-dessous de 50 kilogrammes. M. *Coulomb* a estimé, par beaucoup d'essais, qu'en pareil cas une vitesse de 0 mèt., 22 par seconde, pouvait augmenter d'un peu plus d'un demi-kilogramme les résistances dues à la roideur d'une corde de trente fils de *caret ;* mais cette augmentation de résistance paraît être une quantité constante pour le même degré de vitesse, quelle que soit la tension; en sorte qu'elle cesse d'être sensible sous les grandes tensions, et qu'il n'y a guère de circonstances où l'on ne puisse la négliger dans la pratique : cette augmentation, relative à la vitesse, paraît d'ailleurs beaucoup plus grande dans les cordes neuves que dans les vieilles, dans les cordes goudronnées que dans les cordes blanches. La roideur des cordes goudronnées exige une force qui est à peine d'un sixième plus considérable que celle qu'il faut employer pour vaincre la roideur d'une même corde non goudronnée.

152. M. *Coulomb* a reconnu que le calcul de la roideur des cordes, en suivant les rapports indiqués, exige, dans les gros cordages, une correction. En se servant d'une corde de trente fils de *caret*, et de 0,056 de tour qui enveloppait un rouleau de 0mèt., 054 de diamètre, il trouva qu'avec une tension de 12 kilogrammes, il fallait 5 kilogrammes pour faire dérouler cette corde; tandis qu'avec une tension de 312 kilogrammes, il fallait 33 kilogrammes. Si on retranche 5 kilogrammes de 33, il en résultera qu'une augmentation de tension égale à 300 kilogrammes exige, pour faire dérouler la corde, une force de 28 kilogrammes; ce qui donnerait 9 kil., 3 par quintal, et conséquemment 1 kil., 2 pour une tension de 12 kilogrammes. Mais l'expérience a indiqué qu'une tension de 12 kilogrammes exige 5 kilogrammes pour vaincre la roideur de

la corde susdite ; ainsi c'est 3 kil., 8 de plus qu'on n'aurait pas dû avoir : cependant, en comptant sur une force de 5 kilogrammes pour une tension de 12 kilogrammes, et en calculant pour tous les autres degrés de tension à raison de 9 kil., 3 par quintal, M. *Coulomb* trouva, par ce calcul, pour les forces qui plient la corde, à peu près les mêmes nombres que les expériences par lui faites lui avaient indiqués. Les forces requises pour plier une corde autour d'un rouleau sont représentées par deux termes : le premier est une quantité constante, et l'autre est proportionnel au poids qui tend la corde. La quantité constante ne peut être attribuée qu'aux différens degrés de tension et de torsion que les cordes éprouvent dans leur fabrique. Chaque fil de *caret* y est tendu par une certaine force, et il conserve son degré de tension lorsque la corde est ourdie, parce que les fils de *caret*, serrés et engagés les uns dans les autres, sont retenus par leur frottement. Ainsi, dans une corde qui soutient un poids, chaque fil est tendu non-seulement par le poids qu'il soutient, mais encore suivant le degré de tension qu'il conserve d'après l'ourdissage de la corde : ou si les forces nécessaires pour plier une corde sont proportionnelles aux tensions, il en résulte qu'elles seront proportionnelles à une quantité constante, plus au poids dont la corde est chargée. Cette quantité constante doit varier suivant le degré de tension et de torsion qu'on fait éprouver aux cordes dans leur fabrique. Dans les cordes neuves à trois tourons, elle suit assez exactement le rapport du carré des diamètres des cordes. Lorsque les cordes servent depuis long-temps, les fils de *caret* se détendent, et la quantité constante, qui répond à leur tension primitive, diminue. Cette quantité constante diminue proportionnellement au diamètre des rouleaux (*a*).

(*a*) La formule qui représentera les forces nécessaires pour plier les cordes, sera assez exactement exprimée par $\frac{r^m}{P}$ $(a + b\ P)$ où r est le diamètre de la corde,

153. La plupart des expériences de M. *Coulomb* furent faites avec le même appareil dont *Amontons* et *Désaguilliers* s'étaient servis, et qui n'est autre chose qu'un rouleau enveloppé et soutenu, à ses deux extrémités, par un tour d'une corde suspendue d'un côté au plancher, et tendue de l'autre par des poids. Une petite corde est aussi enveloppée sur le milieu du rouleau auquel elle est attachée par un bout, et elle porte un plateau de balance de l'autre. On place autant de poids qu'il en faut, dans ce plateau, pour faire descendre le rouleau. Il a fait ensuite quelques autres expériences directes, qui lui firent connaître que la force nécessaire pour vaincre la roideur des cordes en élevant un poids avec une poulie, ou avec un cabestan, est double de celle pour plier ces mêmes cordes autour du rouleau de l'appareil que nous venons d'indiquer.

154. Il est très-facile d'appliquer à la pratique les résultats qui précèdent. Une des expériences de M. *Coulomb* indique qu'une corde blanche de trente fils de *caret*, se roulant autour d'un cylindre de 0 mèt., 108 de diamètre, exige, pour faire descendre ce cylindre, une force de 25 kilogrammes, sous une charge de 512 kil.; il faut 2 kil., 5 de force pour une charge de 12 kilogrammes. C'est donc, indépendamment de la quantité constante, une force de 45 kilogrammes par millier, et 1 kilogramme à peu près pour la force constante indépendante de la charge; mais, comme la charge et le rouleau sont soutenus par deux bouts de corde, la constante qui répond à une seule corde n'est que 2 kilogrammes. Ainsi, si nous voulons nous servir de cette corde sur une poulie de 0 mèt., 32 de diamètre, il faut

---

R est le diamètre du rouleau, *a* et *b* sont deux quantités constantes que l'expérience détermine pour des cordes d'une même nature; *p* est le poids que soutient la corde; *m* est égal à 2 pour les cordes neuves, et à $\frac{3}{2}$ pour les cordes à demi usées.

prendre, pour les forces qui plient la corde, le tiers des quantités trouvées pour un rouleau de 0$^{\text{mèt.}}$, 08; la constante sera 0 kil., 7, et 15 kilogrammes par millier de charge; quantité qu'il faudra ensuite redoubler (153).

CHAPITRE XI.

Force des hommes et des animaux.

155. Il arrive très-rarement que, dans les transports et mouvemens des fardeaux, on fasse usage d'aucune autre espèce de moteurs que des hommes et des animaux : voilà pourquoi nous nous en occuperons exclusivement dans ce chapitre.

156. Il y a deux choses à distinguer dans le travail des hommes ou des animaux, l'effet que peut produire l'emploi de leurs forces appliquées à une machine, et la fatigue qu'ils éprouvent en produisant cet effet. La fatigue qui résulte d'un travail quelconque se fait sentir d'autant plus promptement aux moteurs animés, que la quantité de mouvement qu'ils développent à chaque instant est plus considérable ; et réciproquement un moteur animé peut produire une quantité de mouvement d'autant plus grande à chaque instant, que la durée du travail est moindre. Il serait bien important de pouvoir déterminer de quelle manière il faut combiner les différens degrés de pression, de vitesse et de temps, pour qu'un homme, à fatigue égale, puisse fournir la plus grande quantité d'action. *Daniel Bernouilli*, qui a discuté cette question (Prix de l'Académie, tome VIII), dit que la fatigue de l'homme est toujours proportionnelle à sa quantité d'action : en sorte qu'en ne dépassant pas leurs forces naturelles,

l'on peut faire varier à volonté la pression et le temps; et que, pourvu que le produit de ces trois quantités soit constant, il en résultera toujours pour l'homme un même degré de fatigue. Il ajoute que, de quelque manière que l'homme emploie ses forces, soit en marchant, soit en tirant, soit sur une manivelle, soit sur la corde d'une sonnette en élevant un mouton pour battre les pilots, soit enfin d'une manière quelconque, il produira, avec le même degré de fatigue, la même quantité d'action, et par conséquent le même effet. Il évalue le travail journalier des hommes, dans tous les genres de travaux, à un poids de 864,000 kilogrammes élevés à 0 ^{mèt}, 32. *Désaguilliers* et la plupart des auteurs qui ont eu besoin, dans le calcul des machines, d'évaluer l'action des hommes, ont adopté à peu près les mêmes résultats. Mais M. *Coulomb*, après avoir comparé les quantités d'action que les hommes peuvent fournir lorsqu'ils montent pendant une journée de travail une rampe ou un escalier sans fardeau et avec un fardeau; lorsqu'ils voyagent dans un chemin horizontal sans charge et avec une charge; en sonnant comme quand ils élèvent le mouton pour battre et enfoncer des pilots, et quand ils agissent sur des manivelles: il a démontré que la quantité d'action journalière produite dans ces différentes actions est bien différente, et que conséquemment l'opinion de *D. Bernouilli* ne peut être admise. Plusieurs faits positifs, qu'il a observés et calculés, lui ont indiqué que la hauteur perpendiculaire à laquelle un homme peut monter à vide, dans sa journée, est d'à peu près 3000 mètres, et, lorsqu'il est chargé d'un poids de 65 à 70 kilogrammes, de 900 mètres à peu près, en y comprenant les retours à vide. Par la comparaison des quantités d'action que fournit un homme dans ces deux cas, il a trouvé que celle du premier est double de l'autre. Il a ensuite reconnu que la quantité journalière d'action que les hommes

rsqu'ils marchent librement sur un plan ho-
le qu'ils peuvent fournir lorsqu'ils marchent
avec une moyenne charge, comme 7 à 4.
cas, un homme peut parcourir 10 lieues à peu
rnée; dans le second cas, il peut transporter
65 kilogrammes, à trois lieues en comprenant
Il examina aussi les hommes qui travaillent au
remarqua que, lorsqu'ils sont vigoureux, ils
peu près 20 kilogrammes du poids du mouton
uteur, que l'on bat à peu près 20 coups par mi-
o coups de suite, après quoi les hommes se repo-
temps qu'ils ont travaillé : malgré le repos, on
les relever le plus souvent d'heure en heure; ainsi,
il n'est pas plus de trois heures dans la journée. En
travail avec celui d'un homme qui monte libre-
lier, il trouva que la quantité d'action à la sonnette
tiers de l'action qu'il produirait dans le second cas.
ue, dans la plupart des ouvrages de mécanique, la pres-
homme exerce sur la poignée de la manivelle à 12
ilogrammes. M. *Coulomb* ne croit pas que, dans un
ontinu, cette pression puisse s'estimer au-delà de 7 à 8
mmes. La poignée d'une manivelle parcourt le plus sou-
cercle de 2 mètres de circonférence, et l'on compte
tours par minute; mais en examinant, pendant plusieurs
, les travailleurs, l'on voit que lorsqu'ils exercent une
ion de 7 kilogrammes, ils ne font guère que 20 à 22 tours
minute. Enfin l'on évalue le temps journalier du travail à
heures par jour, et dans les grands travaux l'on ne retient
travailleurs qui agissent sur les manivelles, qu'au plus 8
ures, sur lesquelles ils ralentissent leur mouvement ou se re-
sent même assez, pour qu'il ne soit possible d'évaluer qu'à six

heures le temps du travail effectif, à raison de 20 tours par minute. En comparant les différentes quantités d'action fournies par les hommes qui montent librement un escalier, avec celles qui agissent sur la manivelle et la sonnette, l'on trouverait que les quantités d'action fournies par le même homme, dans ces différens genres de travaux, sont entre elles, comme 8 : 5 : 3.

157. Il paraît que la manière de couper en petits intervalles d'action et de repos le travail des hommes qui portent de grands fardeaux, est celle qui convient le mieux à l'économie animale, et que les hommes préfèrent de marcher avec vitesse pendant quelques instans et de se reposer complétement pendant quelques autres instans, que de parcourir une même course dans un temps égal à ces deux intervalles avec une vitesse plus lente, mais continue. C'est ce que nous voyons tous les jours; car les hommes qui transportent des charges de 60 à 65 kilogrammes marchent presque aussi vite que ceux qui ne sont pas chargés; mais pour peu que la course soit longue, ils la coupent par plusieurs intervalles de repos. Il paraît que dans les travaux où les hommes doivent consommer toute leur action journalière, on ne doit exiger d'eux dans les 24 heures que 7 à 8 heures de travail, coupées ou non par de petits intervalles de repos. On parle ici des travaux où les hommes consomment dans un violent exercice toute leur action journalière, car il y a beaucoup de genre de travaux d'une nature telle que les hommes, en travaillant dix ou douze heures par jour, ne consomment souvent qu'une partie très-petite de la quantité d'action qu'ils pourraient fournir dans une journée.

158. Lorsqu'un homme porte un poids ou un fardeau sur ses épaules, il agit avec une grande force. Dans cette manière de travailler, trois hommes font plus qu'un cheval, et souvent deux font autant. *Désaguilliers*, dans son *Cours de physique*,

dit que les portefaix de Turquie portent le double de la charge des plus forts portefaix anglais, dont il y en a, dit-il, qui portent de si grands fardeaux qu'un cheval périrait bientôt s'il était chargé d'un tel poids. Ceux qui travaillent pour les marchands de fromage, à tant par tonneau, portent communément le poids de 150 kilogrammes de fromages à chaque voyage, et travaillent tout le jour. On lit, dans l'*Encyclopédie méthodique*, qu'à Marseille les portefaix y soutiennent à quatre un poids de 18 quintaux métriques. Ils ont la tête enveloppée d'une espèce de sac qui leur ceint les tempes, et qui se termine en un bourrelet qui tombe sur les épaules; sur ce bourrelet ils portent de longues perches où sont suspendues les cordes qui élèvent le plan sur lequel est le fardeau.

M. *Regnier* a inventé une espèce de peson très-commode pour mesurer l'effort que les divers membres de l'homme sont capables de produire. On a fait plusieurs expériences avec ce peson que son auteur a appelé dynamomètre, elles sont détaillées dans le *Journal des mines*, n° 97, où l'on voit aussi la description de cet instrument. On a trouvé que le plus grand effort que peut produire l'homme, est celui de soulever, en se tenant debout, un fardeau placé entre les jambes, et que cet effort peut aller jusqu'à enlever 200 ou 300 kil., et terme moyen, 130 kil.

Force des chevaux.

159 et 160. La plus grande force des chevaux et la moindre force des hommes est lorsqu'ils tirent horizontalement en ligne droite. *De Lahire* nous apprend (*Mémoires de l'Académie*, année 1702, page 261), que les chevaux attachés aux bateaux qui remontent la Seine, lorsqu'ils ne sont point retardés par des empêchemens qui surviennent dans la navigation, produisent chacun un effort équivalant à 79 kilogrammes, en faisant un demi-mètre par seconde et travaillant dix heures par jour.

M. *Sauveur*, ayant aussi fait des expériences sur la force moyenne d'un cheval, a trouvé qu'il tirait d'un puits un poids d'environ 87 kilogrammes avec une vitesse de 3600 mètres par heure. On calcule ordinairement que la force d'un cheval qui tire sur un chemin horizontal, est équivalente à celle de sept homme. On a fait, au dépôt central de l'artillerie, le 10 octobre 1807, des expériences avec le dynamomètre de M. *Regnier*, pour reconnaître la force absolue qu'un cheval peut exercer en tirant, et en voici le résultat :

Expériences sur 4 chevaux destinés aux transports des équipages militaires.

	Nos. des épreuves.	Action exercée par le cheval.	Terme moyen.
1er. cheval	1 2	31 myriagrammes 29	30
2e.	1 2	41 41	41
3e.	1 2	35 32	33 $\frac{1}{2}$
4e.	1 2	39 44	41 $\frac{1}{2}$

Expériences sur trois chevaux de trois voituriers de Paris.

	Nos. des épreuves.	Action exercée par le cheval.	Terme moyen.
1er. cheval	1 2	37 myriagrammes. 37	37
2e.	1 2	38 40	39
3e.	1 2	54 51	52 $\frac{1}{2}$

On voit donc que la force absolue qu'un cheval peut exercer en tirant, varie entre 300 et 500 kilogrammes, et que le terme moyen est 400 kilogram. M. *Regnier* dit, *Journal des mines*, n° 132, que plusieurs voituriers lui ont assuré qu'un cheval qui exerce sur le dynamomètre une action de 40 myriagrammes entraîne une charrette chargée de 2 milliers métriques; et ceux qui exercent sur le même instrument une action de 50 myriag., entraînent 2500 kilogrammes, non pas à une grande distance, mais à un quart de lieue sur un chemin horizontal. Il remarqua

que les chevaux hongres sont plus forts que les jumens, et les chevaux entiers sensiblement plus forts que les deux autres espèces : il y a cependant des exceptions particulières. M. *Regnier* propose l'emploi de son dynamomètre pour éprouver, dans le commerce, les chevaux de voiture. Cette épreuve, qui n'entraîne à aucun danger, en faisant connaître leur degré de force, fait encore distinguer ceux qui sont francs de collier et qui ne se rebutent pas.

161. La charge moyenne d'un cheval est de 100 à 175 kilogrammes. *Désaguilliers* dit que les pelletiers, en Angleterre, chargent leurs chevaux plus que les autres marchands. Ils ont la précaution de leur placer plusieurs peaux sur le dos et sur les hanches, afin qu'ils ne soient pas trop serrés. Ils y mettent quelquefois le poids de 200 ou 250 kilogrammes; mais alors les chevaux vont fort lentement. Dans les courses, leur plus grande vitesse excède bien rarement celle équivalente à 7 lieues par jour, ce qui fait à peu près 1 mètre par seconde. Un bon cheval de roulier peut travailler six jours par semaine, en faisant 3000 mètres par heure, et environ 7 lieues par jour sur un bon chemin horizontal, en tirant avec une force égale à 50 kilogrammes. M. *Guenyveau*, dans son *Essai sur la science des machines*, dit avoir remarqué qu'en général l'effet produit par les chevaux employés à mouvoir les machines à manége, est beaucoup moindre que celui des chevaux qui servent aux transports; et que, d'après le témoignage des personnes qui font sur cet objet des observations journalières, ce travail est très - fatigant, et capable de ruiner promptement les meilleurs chevaux. Le manége doit avoir 13 mètres au moins de diamètre, sans cela les chevaux y perdent une partie considérable de leur force.

162. Le transport à dos est aussi très-fatigant pour les che-

vaux. Le mulet paraît plus propre à ce genre de travail. Le bœuf ne convient pas autant que le cheval, le mulet, l'âne, le chameau, pour porter des fardeaux; la forme de son dos et de ses reins le démontre; mais la grosseur de son cou, et la largeur de ses épaules, indiquent assez qu'il est propre à tirer et à porter le joug. C'est aussi de cette manière qu'il tire le plus avantageusement, quoiqu'il puisse exercer une force de traction presqu'égale à celle d'un cheval, son effet utile n'est guère que de la moitié, à cause de sa lenteur naturelle. C'est l'usage, dans plusieurs endroits, d'obliger les bœufs à tirer avec leurs cornes, parce qu'on suppose qu'ils se laissent ainsi conduire plus aisément.

M. *de Buffon* réprouve cette pratique; il dit que, quoique le bœuf ait la tête très-forte, et qu'il ne laisse pas de tirer assez bien de cette façon, il tire cependant avec beaucoup moins d'avantage que par les épaules. Les buffles, ajoute M. *de Buffon*, sont en général plus gros et plus forts que les bœufs. On s'en sert au labourage; on leur fait traîner, et non pas porter, les fardeaux. On les dirige et on les contient au moyen d'un anneau qu'on leur passe dans le nez. Deux buffles attelés, ou plutôt enchaînés à un charriot, tirent autant que quatre forts chevaux. Leur cou et leur tête se portent naturellement en bas; ils emploient, en tirant, la masse de leur corps, et cette masse surpasse de beaucoup celle d'un cheval et d'un bœuf de labour. C'est dans l'Italie méridionale que l'on fait le plus grand usage des buffles.

LIVRE SECOND.

Des transports sur les plans horizontaux et sur les obliques.

163. S'il était possible de supprimer entièrement les frottemens lorsqu'on doit traîner un poids quelconque sur un plan horizontal, on n'aurait plus d'autres résistances à surmonter que celles dépendantes de l'inertie et de la cohésion qui sont très-petites, en comparaison de celles produites par les frottemens. Il est donc très-important de connaître les moyens que l'on peut employer pour les diminuer; ils résultent de la préparation convenable des plans que les poids à mouvoir doivent parcourir, et de la disposition, des formes et des dimensions des véhicules sur lesquels ils doivent être placés. Nous exposerons donc premièrement quelques notions essentielles, sur la construction des chemins; ensuite nous nous occuperons des traîneaux et des chariots, puis nous décrirons particulièrement les meilleures méthodes pour transporter chaque espèce de matériaux.

CHAPITRE PREMIER.

Des chemins.

164. Les chemins construits par les anciens Romains n'avaient pas une largeur aussi considérable que les nôtres; car leurs plus grandes routes, telles que la *via Appia* et la *via Flaminia* n'avaient à peu près que la moitié de la largeur de

celles de France; mais en revanche tous les moyens que l'art peut suggérer pour les rendre solides et commodes, y étaient mis en usage avec une profusion étonnante. La qualité et quantité de matériaux qu'on y a employés, et le travail qu'on a dû y faire pour les confectionner étaient tellement considérables, que si de nombreux restes n'existaient encore en plusieurs endroits de l'Italie, de la France et de l'Espagne, qui en sont des preuves convaincantes, nous serions tentés de ne pas y croire. On peut affirmer que de tous les monumens de la grandeur romaine qui sont parvenus jusqu'à nous, les restes de leurs grandes routes sont les plus dignes d'admiration.

165. Ces grandes routes étaient ordinairement divisées, sur la largeur, en trois parties distinctes; celle du milieu, préparée avec plus de soin et de solidité, s'appelait *agger*; elle était souvent pavée en grandes pierres de toutes sortes de formes. La largeur de cette partie était dans la plupart des voies antiques de 16 pieds romains, qui équivalent à 5 mètres; elle était quelquefois séparée de deux autres parties latérales, appelées *margines*, par des rebords en pierre de 0,6 mètres de largeur su 0,5 mètres de hauteur, qui servaient de siéges aux voyageurs, et de retraites aux gens de pied pour marcher dans les temps de pluie, et lorsque le reste du chemin était trop encombré de voitures et de troupes. La largeur de chaque marge était ordinairement la moitié de l'agger, ou partie du milieu, en sorte que la largeur entière de la route était de 10 à 12 mètres.

166. Plusieurs grandes routes de France ont 20, et même 24 mètres de largeur, et leur partie du milieu, qui correspond à l'agger des voies antiques, est formée par une chaussée solide de 7 à 8 mètres de largeur, ayant une marge en terre de chaque côté, qu'on appelle *accôtement*. En Italie, en Angleterre, et dans quelques départemens du midi, on supprime les accôtemens,

et la chaussée occupe toute la largeur de la route. Cette méthode est préférable dans les endroits où il y a un fonds solide, et une grande abondance de gravier.

167. Sur les routes de Lombardie, si belles et si bien entretenues, la largeur des accôtemens n'est que d'un mètre; ils servent exclusivement aux piétons, et ils sont séparés de la chaussée par des *bouteroutes*; on appelle ainsi des espèces de bornes placées sur deux lignes parallèles des deux côtés de la chaussée, et également espacées. Elles sont quelquefois en pierre, comme sur la superbe route du Simplon, et quelquefois elles ne sont qu'en bois de chêne. Par leur disposition régulière, elles servent d'ornement à la route, elles préviennent les accidens du versement des voitures dans les fossés, elles mettent les piétons à l'abri des voitures, et empêchent que les accôtemens ne soient dégradés par le roulage. La chausée est couverte d'un empierrement de gravier fait avec beaucoup de soin, et la plus grande largeur totale de ces routes est de 12 à 14 mètres. Les plantations en sont proscrites; car on les regarde comme inutiles dans un pays où les campagnes sont très-boisées, et d'ailleurs nuisibles à la conservation des routes.

168. On observe donc, dans la plupart des grandes routes antiques et modernes, trois parties, la chaussée et les deux accôtemens. La chaussée étant destinée au roulage des voitures, exige une grande solidité. Les accôtemens en exigent moins; ils sont destinés particulièrement aux piétons; dans la belle saison, ils offrent aussi aux voitures un roulage doux et suffisamment solide; sous ce rapport, les accôtemens sont conservateurs de la chaussée, à laquelle ils suppléent. Ils sont très-utiles dans les pentes fortes, parce que les rouliers enrayent de préférence sur les accôtemens, qu'il vaut mieux d'ailleurs exposer à être sillonnés par cette manœuvre que la chaussée.

169. Les Romains ne négligeaient rien pour établir les chemins d'une manière solide et durable; leur premier soin, après avoir tracé la direction de la route, était de niveler et de dresser le sol en raison de la situation du pays qu'elle devait traverser; ensuite ils le battaient fortement avec des bâtons ferrés, faits exprès pour lui procurer une fermeté uniforme. C'est sur ce sol bien nivelé et bien battu, qu'on étendait les différentes couches qui devaient composer l'*aire* ou massif du chemin. Ces couches étaient désignées par les mots *statumen*, *rudus*, *nucleus* et *summa crusta*, ou *summum dorsum*, c'est-à-dire, *massif*, *blocage*, *noyau* et *superficie supérieure*. Ces quatre couches formaient ensemble une épaisseur d'un mètre. Dans les grandes voies militaires, la première couche ou *statumen*, était formée par une ou deux assises de pierres plattes, posées en bain de mortier. La seconde couche ou *rudus*, était formée d'une maçonnerie de blocage bien battue. C'était sur cette couche bien dressée qu'on étendait la troisième appelée *nucleus*, qui était une espèce de béton, composé de gravier broyé avec de la chaux nouvellement éteinte. Le pavé, ou *summum dorsum*, était posé sur cette dernière couche, dans laquelle on l'enfonçoit en le battant. Dans plusieurs voies antiques, telles que les voies *Appia*, *Prenestina*, *Tiburtina*, *Valeria*, le pavé est formé par de grandes pierres, ou laves bleuâtres, taillées en poligones irréguliers de cinq, six ou sept côtés, dont quelques-unes ont 1 mètre ou 1$^{mèt.}$, 5 de diamètre, et sont si bien jointes, qu'en plusieurs endroits on ne saurait faire passer entre deux la pointe d'un couteau. Ces pierres ont environ 3 décimètres d'épaisseur. Dans quelques chemins antiques, on ne trouve pas la couche appelée *nucleus*; les grandes pierres qui forment le pavé, sont immédiatement posées sur celle appelée *rudus*. Les chemins antiques, dont la superficie n'était pas pavée en grandes pierres, étaient

terminés par une couche de béton, composée, comme il a été dit, de gravier broyé avec de la chaux. On réservait les cailloux les plus gros, qu'on enfonçait dans ce béton, pour former la surface supérieure, appelée *summa crusta*.

170. *Bergier* découvrit, près de Reims, des restes de voies antiques, lesquelles avaient été construites de la manière suivante. Après avoir nivelé et battu le sol, on avait étendu dessus, dans l'espace que devait occuper le chemin, une couche de mortier et de sable blanc d'environ 3 centimètres d'épaisseur : sur un lit formé de pierres larges et plates, liées avec un mortier fort dur, placé sur cette couche, était une maçonnerie en blocage de 0 mèt., 25. La troisième couche avait 0 mèt., 3, était formée d'une espèce de marne crayeuse battue; la dernière couche était de béton de 0 mèt., 16. Dans une autre fouille il trouva que la première couche était de deux assises de pierres plates, dont la première, de 0 mèt., 28, était maçonnée à bain de mortier, et la seconde, de 0 mèt., 3, était composée de pierres posées à sec, sans mortier. Cette dernière était couverte d'une couche de 0 mèt., 12, d'une espèce de terre rousse battue; sur cette couche en était une autre de 0 mèt., 28, en béton, composée de petits cailloux ronds et lisses, dont la grosseur variait depuis celle d'un noyau de cerise jusqu'à celle d'une noix, broyés avec de la chaux et du sable. La dernière couche était composée de cailloux plus gros, posés à bain de mortier. L'épaisseur totale était de 1 mèt., 2.

171. Les Romains ont aussi fait des chemins où ils n'ont employé ni chaux, ni mortier, ni ciment: ils y substituaient l'argile, la marne, la craie ou terre franche; mais ils ont observé, dans leur construction, les mêmes couches que dans ceux en maçonnerie, qu'ils avaient soin de bien massiver, pour leur donner une plus forte consistance.

172. Les moyens dont on fait usage actuellement pour rendre solide la partie que l'on nomme chaussée, sont bien plus simples et plus imparfaits. Dans les chemins anciens, elle présentait une surface très-dure, très-unie, impénétrable à la pluie, et qui conséquemment ne pouvait produire que très-peu de poussière; n'étant presque pas sujette à dégradation, elle ne demandait qu'un travail d'entretien très-peu considérable; et enfin le roulage devait être facile, commode, peu fatigant pour les chevaux, et sans secousses ni saccades. Non-seulement la chaussée de ces voies antiques offrait de tels avantages, mais encore les marges étaient construites, sinon avec autant de dépense, du moins avec beaucoup de soin. Dans les chemins modernes, qui sont continuellement surchargés d'énormes voitures bien plus pesantes que celles des anciens, et qui auraient ainsi besoin d'une solidité au moins égale à celle des voies antiques, il n'y a de réellement solide que la partie pavée, surtout lorsqu'on peut, comme dans les environs de Paris, se procurer une matière aussi propre à cet usage que les grès qui se débitent facilement. Les deux marges ou accotemens ne sont ordinairement formés que de terres provenant des fossés creusés, le long des grands chemins, pour l'écoulement des eaux pluviales, et pour les séparer des propriétés particulières; on a beau couvrir la superficie de ces terres rapportées de gravier ou de pierrailles, comme elles n'ont pas assez de fermeté, il s'y fait bientôt des ornières, et ces terres étant susceptibles de s'imbiber d'eau, lorsqu'elles en sont pénétrées ces parties de chemins deviennent impraticables après les pluies, surtout en hiver, et fort incommodes en été à cause de la poussière.

173. La partie solide des grandes routes se construit de deux manières; elle se fait en pavé ou en empierrement. On se sert, en France, de trois sortes de pavés: la première, et la plus belle,

est celle de grès; la deuxième, de cailloux choisis, d'une dimension à peu près uniforme; la troisième est celle des pavés à pierre de rencontre. Toutes ces espèces de pavé peuvent former indépendamment du mortier, une surface solide, en les posant sur une forme de sable étendue sur un fond bien consolidé, et en garnissant bien les joints, ainsi que le prouve le pavé de Paris et des principales routes. Le grès dur est la pierre qu'on emploie de préférence à la construction des chaussées pavées. L'expérience a indiqué qu'un pavé de grès, bien équarri, doit avoir 0 $^{\text{mèt.}}$, 24 sur toutes les faces. Il doit être assis sur un lit de sable d'environ 0 $^{\text{mèt.}}$, 2 d'épaisseur; posé normalement à la courbure de la chaussée par rangées alignées et à joints recouverts. Les deux rangs de pavés extrêmes sont nommés bordures; elles ont leurs dimensions en longueur et en largeur plus fortes que le pavé, afin que d'une part elles en consolident et retiennent les rangs, en s'enracinant plus profondément dans la forme, et de l'autre part qu'elles fassent intérieurement et alternativement liaison avec le pavé. Lorsque la pose des pavés est finie avec les précautions nécessaires pour que leur surface satisfasse au profil, on frappe chacun d'eux avec la hie; et, pour assurer la solidité de l'ensemble, on étend sur la surface de la chaussée une couche de sable d'environ 0 $^{\text{mèt.}}$, 02. Cette couche est nécessaire pour garnir les joints sans le secours d'aucune main d'œuvre ultérieure.

174. Les chaussées en empierrement modernes sont formées de plusieurs couches, comme celles des anciens; mais ni la chaux, ni le ciment, ni le mortier, ni même les couches alternatives d'argile n'y sont employés; et néanmoins leur épaisseur totale est bien moindre, puisque le massif solide des chaussées romaines avait à peu près 1 mètre d'épaisseur, et que celles-ci n'en ont que 0, 5 au plus. Le nombre des couches est ordinai-

rement de trois; on y emploie le moellon brut; on réserve le plus dur, surtout s'il est d'espèce siliceuse, pour la couche supérieure. La première couche, que l'on peut regarder comme la fondation de la chaussée, doit avoir, lorsque la forme est un plan horizontal, 0$^{mèt.}$, 3 d'épaisseur; elle est faite en moellons, posés de champ sans ordre; on a seulement le soin de ne point laisser de vide; les pointes des moellons qui excèdent servent à lier cette première couche avec la seconde. Ce premier massif, ainsi préparé et recouvert par la deuxième couche, qui a environ 0$^{mèt.}$, 1 d'épaisseur, on emploie de la pierraille ramassée dans les champs, ou des cailloux lorsqu'on peut s'en procurer; à défaut de ces matériaux, on casse du moellon, et on le réduit à une grosseur uniforme : cette deuxième couche s'arrange sur la première au moyen de la pelle de fer; elle doit présenter une aire uniforme, et satisfaire au profil adopté. La troisième couche, qui a également 0$^{mèt.}$, 1 à peu près, se fait avec du gravier, ou, ce qui est préférable, avec des pierres dures et siliceuses cassées avec soin. Elles s'arrangent sur la seconde couche au râteau à dents de fer. Ce massif de trois couches, qui constitue la chaussée en empierrement, est contenu sur ses bords par deux rangées de bordures ; mais la surface supérieure, au lieu d'être posées en parement, comme dans la construction de la chaussée en pavé, doit être cachée par l'empierrement qui la recouvre. Ces bordures ne montrent que leur arête. Quoique la solidité de cette espèce de chaussée soit très-inférieure à celle de l'*agger* des voies romaines; cependant, si elle a été faite avec soin, et que les matériaux, surtout ceux des deux dernières couches, aient été bien choisis, les pierres qui composent la troisième couche s'arrangent et se mêlent, par l'effet du roulage, avec celles de la deuxième : les débris de la surface qui s'usent, et dont la pluie détrempe les fragmens, forment un ciment qui augmente les

points de contact, et remplit peu à peu tous les intervalles; il en résulte, après un certain laps de temps, un massif homogène, dur, uni à sa surface, et qui résiste bien au roulage des plus lourdes voitures. Quand ce massif est entretenu avec beaucoup de vigilance et de soin, il se perfectionne insensiblement; car, en même temps que la densité et la cohésion de ses couches augmentent, son épaisseur augmente aussi par la superposition du gravier ou de la pierraille qu'on y dépose continuellement pour les réparer.

175. Je ne connais aucune méthode de paver les rues des villes, plus digne d'être imitée que celle adoptée dans la ville de Milan. Deux files parallèles de grandes dalles de granit forment les *charières* des voitures, c'est-à-dire, elles tracent le chemin que les roues doivent parcourir. Entre ces deux files de dalles correspond un canal souterrain voûté, qui reçoit les écoulemens des maisons par d'autres petits canaux semblables, communiquant perpendiculairement avec lui. L'eau de la pluie s'écoule dans ce canal par de nombreux regards couverts de grosses pierres percées de trous, disposées à distances égales entre les deux files de dalles. Ces dalles ont 1 mètre, ou 1 $^{\text{mèt.}}$, 5 de longueur, 0$^{\text{mèt.}}$, 5 ou 0$^{\text{mèt.}}$, 6 de largeur et 0$^{\text{mèt.}}$, 3 d'épaisseur. Dans les rues les plus larges et les plus fréquentées, il y a deux couples de files de dalles et deux canaux souterrains entre ces files. De chaque côté des maisons, il y a deux espèces de trottoirs pavés en dalles ou en briques. Le surplus de la rue est pavée en cailloux posés avec soin et recouverts d'une couche de ciment qui remplit les espaces, et qui rend en même temps la surface du pavé solide et unie. Il serait à désirer qu'à Paris, où l'on a un noble empressement d'adopter ce que les pays étrangers offrent de plus beau et de plus utile, on voulût faire l'essai de cette méthode, qui est coûteuse, à la vérité, mais qui présente de très-

grands avantages. Les canaux souterrains remplaceraient les ruisseaux incommodes et dégoûtans, et les rues seraient infiniment plus propres. Les dalles rendraient le roulage plus facile, et incomparablement moins fatigant pour les chevaux. Les personnes riches qui vont en voiture auraient l'agrément de ne pas ressentir des secousses continuelles, et de parcourir les rues d'une manière bien moins gênante.

176. Nous indiquerons aux lecteurs qui désireraient acquérir des connaissances plus détaillées sur la construction des voies antiques et des grandes routes modernes, les ouvrages suivans: *Histoire des grands chemins de l'empire romain*, par *Nicolas Bergier; Traité de la construction des chemins*, par *Gautier; Programmes du cours de construction*, par *Sganzin; l'Art de bâtir*, par *Rondelet*.

177. Nous nous occuperons maintenant d'un objet très-important, c'est de déterminer le rapport qu'il y a entre le poids d'un fardeau placé sur une voiture ordinaire, et la résistance qu'on éprouve pour lui faire parcourir les diverses espèces de chemins que l'on peut réduire à cinq principales; 1°. chemin pavé; 2°. chaussée nouvelle en empierrement; 3°. chaussée en empierrement bien consolidé; 4°. chemin de terre en assez bon état; 5°. chemin de terre sablonneux ou boueux en mauvais état. Nous nous servirons, pour cet objet, des belles expériences de M. le comte *de Rumford*; elles sont d'autant plus satisfaisantes, qu'elles ont le rare mérite d'être très-directes. Ces expériences furent faites avec sa propre voiture, dont le poids total, y compris celui de trois hommes qu'elle renfermait, était de 1060 kil. Voilà les moyens qu'il employa pour mesurer le tirage. Un morceau de bois de hêtre de 0^{mèt}, 87 de long, 0^{mèt}, 12 de large et 0, 03 d'épaisseur, mobile sans frottement sensible dans une coulisse, était placé à plat sur l'avant-train de la voiture, et dans la

direction de sa route : aux deux extrémités de ce morceau de bois se trouvaient deux crochets de fer; au crochet de devant était attachée une volée, qui tenait à ses deux extrémités les deux palonniers des harnois, et à l'autre crochet le bout d'une forte corde, qui était fixée à son autre bout à une poulie de 0$^{mèt.}$, 1 de diamètre, qui était placée à plat sur l'avant-train de la voiture et derrière le morceau de bois, de manière que la corde, étant tendue par le tirage des chevaux, elle se trouvait dans la direction de la voiture. Sur la petite roulette de bois de 0$^{mèt.}$, 028 d'épaisseur, qui forme cette poulie, était fixée une autre roulette un peu moins épaisse de 0$^{mèt.}$, 32 de diamètre; de manière que les deux roulettes fixées l'une sur l'autre ne formaient qu'un seul corps, qui tournait librement sur un pivot de fer entre deux morceaux de chêne attachés par des boulons à l'avant-train de la voiture; une corde moins forte que la première était attachée par un bout à la grande roulette de cette double poulie, qu'elle enveloppait, mais en sens contraire à la direction de la grosse corde qui entourait la petite roulette, et son autre bout étant attaché au crochet d'un peson circulaire à ressort, l'élasticité de ce ressort résistait à l'effort des chevaux en tirant la voiture, et le balançait continuellement; l'aiguille *du peson* indiquait la quantité de force employée. Comme les diamètres des deux roulettes que les deux cordes entouraient (en sens contraire) étaient dans la proportion de 1 à 4, il est évident que la force que l'aiguille indiquait n'était que le quart de celle que les chevaux exerçaient. Comme le mouvement d'un cheval n'est jamais parfaitement uniforme, la force employée par les chevaux en tirant doit nécessairement varier à chaque pas, ce qui fait que l'aiguille qui indiquait à chaque instant la force réellement employée, oscillait continuellement, et quelquefois avec une vitesse si grande, qu'à peine l'œil pouvait la suivre; mais nonobstant cette

oscillation continuelle, il n'est pas difficile, dans les cas ordinaires, de déterminer avec assez de précision la force moyenne du tirage. On n'a qu'à prendre ce qui paraît le moyen entre toutes les oscillations, laissant de côté celles qui sont la suite des écarts des chevaux, ainsi que celles qui sont causées par des obstacles étrangers, comme morceaux de pierre et autres, que les roues rencontrent quelquefois sur toutes les routes. Comme le but principal que M. *de Rumford* s'était proposé lorsqu'il entreprit ces expériences, était de constater l'avantage des roues à larges jantes sur les autres, il se servit successivement de trois espèces de roues.

Roues de première espèce.

	Hauteur.	Poids d'une roue.
Roues de devant	1, 13 mètres	31 kil.
Roues de derrière	1, 64	56
Largeur des jantes	0, 05	»
Poids des quatre roues		174

Roues de deuxième espèce.

	Hauteur.	Poids d'une roue.
Roues de devant	1, 06	43
Roues de derrière	1, 62	65
Largeur des jantes	0, 07	»
Poids des quatre roues		216

Roues de troisième espèce.

	Hauteur.	Poids d'une roue.
Roues de devant	1, 06	60
Roues de derrière	1, 60	90
Largeur des jantes	0, 12	»
Poids des quatre roues		300

La voiture montée sur les roues de troisième espèce pesait 860 kilogrammes; elle était chargée de trois hommes pesant ensemble 200 kilogrammes, de manière que le poids total tiré par les chevaux était de 1060 kilogrammes. Lorsqu'on faisait

l'expérience avec les autres roues, on avait soin de charger la voiture d'un poids entre celui de ces roues et des autres.

Expériences faites sur la grande route de Versailles, entre le pont de Sèvres et Passy, sur le pavé.

Le tirage a été :

	au petit pas.	au grand pas.	au petit trot.	au grand trot.
avec la 1re. espèce de roues	de 24 à 30 kil.	de 30 à 36 kil.	de 46 à 60 kil.	de 70 à 75 kil.
2e. espèce	22 à 24	28 à 30	42 à 47	65 à 70
3e. espèce	20 à 22	24 à 28	37 à 42	60 à 65

Sur une partie de cette route, à côté du pavé, sur l'accôtement ou chemin de terre.

Le tirage a été :

	au petit pas.	au grand pas.	au petit trot.	au grand trot.
avec la 2e. espèce de roues	de 40 à 46 kil.	de 40 à 48 kil.	de 41 à 50	de 42 à 50 kil.
3e espèce	38 à 42	40 à 42	40 à 44 kil.	de 42 à 50

Sur une partie de cette route où le chemin était un peu sablonneux.

Le tirage a été :

	au pas.	au trot.
avec la 2e. espèce de roues	de 50 à 60 kil.	de 60 à 75 kil.
3e. espèce	46 à 50	50 à 55

Sur une partie du chemin encore plus sablonneuse.

Le tirage a été :

	au pas.	au trot.
avec la 2e. espèce de roue	de 62 à 66 kil.	de 62 à 66 kil.
3e espèce	60 à 65	60 à 65

Sur une portion de cette route qui était très-sablonneuse.

Le tirage était :

	au pas.	au trot.
avec la 2e. espèce de roues	de 90 à 100 kil.	de 90 à 100 kil.
3e. espèce	80 à 90	80 à 90

Sur la chaussée en empierrement de Saint-Cloud, entre le pont de Saint-Cloud et la route de Versailles.

Le tirage a été :

	au pas.	au trot.
avec la 2e. espèce de roues	de 40 à 42 kil.	de 41 à 45 kil
3e. espèce	36 à 40	40 à 42

est plus petite. La connaissance remarquable que le tirage d'une voiture roulant sur un chemin de terre n'est pas sensiblement augmenté quand on augmente la vitesse, pourrait être employée utilement en bien des occasions pour ménager la force des chevaux. Elle pourrait d'abord servir pour décider la question de savoir si, faisant un long voyage avec les mêmes chevaux, on devrait imiter les *vetturini* italiens, qui se mettent en route dès la pointe du jour, vont toute la journée au pas; ou s'il ne serait pas moins fatigant pour les chevaux d'aller plus vite pendant quatre ou cinq heures chaque jour, pour reposer ensuite plus long-temps au gîte. Pendant un voyage que M. *de Rumford* fit en Italie en 1793 et 1794 avec ses propres chevaux, il fit des expériences pour déterminer cette question; il reconnut effectivement que ses chevaux se trouvèrent en beaucoup meilleur état après avoir voyagé pendant quinze jours, faisant tous les jours huit à dix lieues au trot, qu'après avoir voyagé le même temps et parcouru le même chemin, allant toujours au pas. Ceux qui ont voyagé en Italie avec les chevaux de poste, savent que les postillons italiens mettent toujours leurs chevaux au galop lorsqu'ils ont une montée à passer, et qu'ils ne cessent de galoper, jusqu'à ce qu'ils soient arrivés à son sommet. Comme dans ce cas, le tirage n'est pas sensiblement plus grand allant vite qu'allant lentement, les postillons italiens ont peut-être raison de chercher à passer vite une portion de chemin pénible qu'ils ne peuvent éviter. Si, voyageant sur une route pavée, on veut aller très-vite, il faut quitter le pavé pour aller sur l'accotement, au cas même que cet accotement se trouve loin d'être bon; mais, lorsqu'on voyage avec une voiture très-chargée, il faut aller au petit pas sur le pavé.

179. Il résulte des expériences de M. *de Rumford* que le rapport moyen entre le poids qu'on doit transporter, y compris

celui de la voiture et la résistance qu'éprouve l'agent moteur pour en effectuer le transport, est, sur le pavé, au petit pas $\frac{1}{44}$, au grand pas $\frac{1}{36}$, au petit trot $\frac{1}{24}$, au grand trot $\frac{1}{15}$, sur les accotemens en terre des deux côtés de la chaussée, $\frac{1}{25}$; ce résultat varie très-peu, quelle que soit la vitesse du moteur: il en est de même sur la chaussée en empierrement, où le rapport est aussi à peu près de $\frac{1}{25}$. Sur une route très-sablonneuse et sur une route en empierrement nouvellement construite, le rapport est $\frac{1}{9}$, en montant sur une chaussée pavée d'à peu près un décimètre de pente par mètre, $\frac{1}{12}$.

180. La force moyenne qu'un bon cheval attelé à une voiture peut déployer en tirant et en continuant sans trop se fatiguer son travail toute la journée, est équivalente au poids de 50 kilogrammes à peu près. Ainsi il pourra tirer, sur un chemin horizontal, pavé et en bon état, un poids de 2,200 kilogrammes y compris celui de la voiture, allant au petit pas; un de 1,800 kilogrammes, allant au grand pas; un de 1,200 kilogrammes au petit trot, et un de 750 kilogrammes au grand trot. Sur une chaussée en empierrement, ou sur les accotemens en terre, pourvu qu'ils soient en bon état et que le chemin soit horizontal, il tirera un poids de 1,250 kilogrammes. Sur une chaussée en empierrement nouvellement construite, ou sur une route très-sablonneuse, ou encore sur un chemin en terre en mauvais état, il ne tirera qu'un poids de 450 kilogrammes; et sur une chaussée pavée d'à peu près un décimètre par mètre, il tirera 600 kilogrammes. A Paris, les charrettes ordinaires chargées de pierres de taille, attelées de trois chevaux, mènent ordinairement sur le pavé une charge de pierres de taille de deux mètres cubes environ; ce qui fait par conséquent, à 2,100 kilogrammes le mètre cube, 4,200 kilogrammes, sans comprendre le poids de la charrette, qui est à peu près de 1000 kilogrammes : la charge

totale est donc de 5,200 kilogrammes, c'est-à-dire 2,600 kilogrammes pour chaque cheval. Il faut observer que les charrettes ainsi chargées sont souvent obligées de franchir de petites montées. Un seul cheval traîne une charrette chargée à l'ordinaire d'une demi-corde de bois, qui est d'environ 2, 3 mètres cubes, et par conséquent de plus de 2,000 kilogrammes. M. *Grobert* dit (*Observations sur les voitures à deux roues*). que les voituriers qui transportent les plus fortes charges sont les Provençaux, ou ceux qui parcourent les routes de la Normandie par Gourney, et qu'elles s'élèvent, par terme moyen des saisons, jusqu'à 4,000 kilogrammes. Leurs voitures à deux roues pèsent 560 kilogrammes à peu près; le chemin qu'ils parcourent est de cinq à huit lieues de 25 au degré par jour, sans les accidens; ils attellent quatre chevaux très-forts. Tous les chevaux des voituriers ordinaires ne sont pas aussi forts que ceux-ci; aussi quelques-uns, et surtout ceux qui voyagent dans un pays inégal, ont coutume d'atteler cinq chevaux à une voiture à deux roues, pour traîner une charge de 4,000 kilogrammes. Enfin les voituriers qui ont des chevaux mêlés ou d'une force sensiblement inégale, qui doivent parcourir des portions de chemins dégradés ou sablonneux, ou franchir des montées dans un long trajet, se bornent à charger trois milliers sur cinq chevaux.

181. Comparons maintenant les résultats des transports en bateaux, sur les canaux, avec ceux par le roulage sur terre. M. *Sganzin* rapporte, dans ses *Programmes du cours de construction*, qu'on observe journellement que, pour la traversée du canal d'Orléans, un seul homme tirant un bateau chargé de 5,000 myriagrammes, parcourt le canal en dix jours, depuis l'embouchure de la Loire jusqu'à Moret, où il entre dans la Seine. L'espace parcouru est de onze myriamètres, environ vingt-deux lieues. Un seul marinier dirige le bateau: ainsi le

transport des 5,000 myriagrammes n'exige par ce moyen que vingt journées de travail d'un seul homme. D'après les données ordinaires pour le transport au moyen des voitures, il faudrait, pour effectuer ce transport, en employant ce dernier moyen, 300 journées de chevaux, et 75 journées de voituriers pour les conduire. L'économie du premier moyen sur le second est de 300 journées de chevaux et de 55 journées d'hommes pour un seul bateau. Si l'on considère qu'il passe annuellement environ 3,800 bateaux sur le canal, que l'on réduira à 3,000, parce qu'ils ne sont pas tous du même port, on trouve que, chaque année, le canal procure une économie de 900,000 journées de chevaux et de 175,000 d'hommes.

182. Les Anglais ont inventé et mis en usage, depuis un petit nombre d'années, une espèce de chemin qui facilite considérablement les transports. Voilà ce que M. *O'Reilly* en rapporte dans ses *Annales des arts et manufactures :* « Notre voyage en Angleterre nous a fourni beaucoup d'occasions d'observer une multitude de ces chemins qui le disputent aujourd'hui aux canaux de petite navigation. Nous avons vu ces chemins de fer, partant des belles forges de Merthyr-Tydwil, apporter jusqu'au port de Cardiff les productions de ces usines. Partout dans le South-Wales et dans tous les pays montueux de l'Angleterre, on les emploie dans le voisinage des forges. Jusque-là nous avons cru que, malgré leur avantage, ces chemins étaient uniquement consacrés aux forges et aux houillères ; mais il nous restait à voir près de Londres une entreprise de la première utilité : c'est le chemin de fer de la province de Surrey, destiné à former la communication entre Portsmouth et Londres, dont la portion entre Wandsworth jusqu'à Garrat était achevée. Sur ce chemin nous vîmes un cheval chétif, traînant trois chariots contenant trente-trois quarters (le quarter pèse 488 livres anglaises) de

graine de lin en montant la pente du chemin, et cela lorsque le fer était encore rude, et avant que la surface eût acquis un poli par l'usage. » Un Rapport fait au Comité d'agriculture de la Chambre des communes, en août 1799, sur les chemins de fer établis aux houillères de Meas-Ham en Derbyshire, appartenant à M. Wilkes, contient les faits suivans : « Des expériences ont été faites, avant la construction de ces chemins, pour décider si on devait les préférer à une petite navigation pour le transport des charbons. Un cheval estimé de la valeur de vingt louis traîna facilement sur un chemin de fer dont la pente était de $\frac{5}{8}$ de pouce par toise (en descendant), vingt et un petits chariots accrochés l'un à la suite de l'autre, et chargés de houille, de bois et d'autres matières pesant en tout 70 milliers. Ce poids, qui paraît incroyable, a été tiré à plusieurs reprises par le même cheval, en présence des commissaires nommés pour constater l'expérience. Le même cheval fit remonter ces mêmes chariots vides, pesant environ dix milliers, sans s'être sensiblement fatigué; dans une autre partie du chemin où la montée était de trois pouces et demi par toise, le cheval n'a pu tirer que six milliers; en descendant à ce même endroit, on a été obligé d'enrayer les roues pour empêcher que le poids ne foulât trop fortement les reins du cheval. Les chariots employés sur ce chemin étaient en forme de camions ou de pyramides tronquées élevées sur quatre roues de fonte évasées, et portant dans leur rainure sur la barre de fonte qui forme le conduit ou le chemin de fer. Les mêmes personnes ont fait une seconde expérience à une autre houillère sur un chemin d'une construction semblable, dont la pente était de deux tiers de pouce par toise. Le cheval employé était très-robuste et estimé trente louis. On attela derrière lui vingt et un de ces camions, pesant ensemble 86 milliers et 8 quintaux. Ce cheval les traîna jusqu'au bas de la descente avec la plus grande facilité. Le même

cheval remonta avec un poids de quatorze milliers. Il est bon de remarquer que, quoique ces poids soient anglais, le quintal employé était celui du commerce, de 120 livres; ce qui rend le calcul encore plus incroyable. Ce chemin a été formé de barres ou gueuses de fonte de trois pieds de long, et du poids de trente-trois livres chacune. On les a placées et scellées en laissant entre les barres parallèles une voie de quatre pieds deux pouces de large; elles étaient fixées sur des bancs de pierre ou des poutres de chêne, et la chaussée sur laquelle on avait établi la plate-forme était remplie de gravois ou de sable battu, à défaut de ciment ou maçonnerie, qui serait revenu à un prix trop élevé, et dont l'usage était inutile. La dépense par mille anglais, y compris les matériaux et la construction de cette route sur le plan le plus dispendieux, était d'un millier de louis. Dans cette dépense on ne compte pas les exhaussemens extraordinaires pour traverser les ravins, etc. Les barres ne pèsent jamais moins de vingt livres ni plus de quarante livres. On a fabriqué de ces chemins avec des barres ou tringles de bois pour éviter la dépense du fer; mais, après plusieurs essais inutiles, on s'est vu forcé de les abandonner : l'humidité les tourmentait; ils se déjetaient et exigeaient des réparations fréquentes, qui les rendirent impraticables. Les principes pour la construction des chemins de fer sont de placer les barres dans un parallélisme exact, reposant et scellées dans des soubassemens de pierre ou des traverses de bois; mais la pierre est préférable. Il faut aussi que les barres parallèles aient une pente égale, et que le chemin soit rendu sec de chaque côté par des saignées, pour éviter les dégradations par le séjour des eaux pluviales. Des supports en pierre placés de niveau, et à chaque côté des pierres un massif de gravier ou de pierres pilées, fortement battues avec un *mouton* ou une *demoiselle;* la voie du cheval bien ferrée; une rigole

pratiquée pour le prompt écoulement des eaux pluviales; des barres pesant environ trente-trois livres, avec un talon à chaque extrémité, pour être scellées dans la pierre, et ce scellement fait avec du soufre : voilà à coup sûr des matériaux peu dispendieux, et dont l'avantage est évident.

183. Les coulisses, ou longrines de fer les plus généralement employées pour les chemins de fer, sont, comme nous l'avons dit, des barres méplates de fonte de trois pieds de longueur environ. Ces barres ont un rebord sur le côté extérieur, tant pour renforcer la barre que pour empêcher les roues des chariots de s'échapper. Ces coulisses ont l'inconvénient d'être souvent obstruées par le gravier ou la poussière; le rebord intérieur a toujours été incommode, en ce qu'il présente un obstacle très-mince; et, lorsque par hasard un cheval bronche, il est rare qu'il ne se blesse contre le rebord; enfin, l'effort sur la coulisse est appliqué dans la direction où elle est la plus faible, ce qui l'expose souvent à être brisée à cause de l'inégalité du sol. M. Wyatt, en réfléchissant sur ces inconvéniens, a imaginé qu'en adoptant la forme elliptique pour la coupe de ces coulisses, il corrigerait les défauts des chemins ordinaires, et diminuerait considérablement les frottemens. Le succès a répondu à son attente. On a employé cette espèce de coulisse au chemin de fer établi dans le Carnavonshire, depuis les carrières d'ardoises de lord Penrhyn, jusqu'au port Penrhyn (4), où on les embarque. La longueur est de six milles et un quart, mesure anglaise. La pente est d'un huitième de pouce par pied. Ses coulisses consistent en des barres de fer ovales de quatre pieds et demi de long et de trente-six livres de poids, sur lesquelles roulent les roues de fonte des chariots, dont les jantes sont concaves, afin de pouvoir s'adapter sur les barres. Ces roues sont ajustées sur leur axe, de manière à pouvoir tourner

le chariot dans les courbes les plus promptes. Il est évident que la poussière ne peut pas s'y loger; et elles doivent nécessairement être plus fortes que les anciennes, ce qui leur permet de résister plus facilement à la pression perpendiculaire et latérale. Le frottement est peu considérable; elles ne présentent pas de dangers pour les chevaux, et on peut les placer plus facilement sur les dormans de bois, et établir le chemin pour le tirage des chevaux avec plus de facilité que dans l'ancienne méthode. La route de Penrhyn est divisée en cinq relais, à cause des commodités locales; deux chevaux peuvent traîner vingt-quatre chariots six fois par jour, sur la longueur d'un relais: chaque chariot porte un tonneau, ou deux mille deux cents livres anglaises d'ardoises, ce qui fait cent quarante tonneaux par jour. On ne peut rien opposer à l'évidence d'un pareil fait, qui est la preuve incontestable de l'utilité des chemins de fer.

184. On a proposé de rendre applicable cette invention à toute espèce de voitures. Mais je ne crois pas que cette application puisse jamais être mise en usage avec succès, car elle exige d'abord que toutes les voitures qui doivent passer sur ce chemin, aient précisément le même écartement entre leurs roues; et on conçoit combien il serait difficile, pour ne pas dire impraticable, d'obtenir cette exacte uniformité. Je crois qu'il n'y a rien de plus convenable pour combiner la solidité avec la commodité des voyageurs, et avec la plus grande facilité et économie des transports, qu'une chaussée pavée en grosses dalles polygones de diverses figures, qui aient les joints unis avec beaucoup d'exactitude comme dans les voies militaires des Romains, et à côté de laquelle on établirait un chemin de fer. La chaussée servirait pour les voitures des voyageurs, et le chemin de fer pour le transport des marchandises et matériaux, qui se ferait toujours sur les mêmes chariots qui parcourraient toujours la

même portion de chemin. Dans les localités où une chaussée pavée à la manière antique en dalles irrégulières serait trop coûteuse, on pourrait la remplacer par un pavé en grès ou en gros cailloux, mais dans lequel les charrières où les roues devraient rouler seraient tracées par de grandes dalles, comme dans le beau pavé des rues de Milan que nous avons déjà indiqué. (175.)

CHAPITRE II.

Traîneaux, chariots et charrettes.

185. Les traîneaux, les charrettes et les chariots sont les trois espèces de véhicules dont on se sert pour transporter les fardeaux par terre à des distances considérables. Le traîneau n'est autre chose qu'un simple châssis sur lequel on place les choses qui doivent être transportées et qu'on fait glisser sur le chemin qu'il parcourt. La charrette est un châssis monté sur deux roues, et dont les deux côtés latéraux ont une saillie en avant, de deux mètres; on désigne ces parties saillantes entre lesquelles on place et on attache le cheval qui doit tirer la charrette, par le nom de *limons*. Le chariot a quatre roues : celles de devant sont ordinairement plus petites, et leur essieu est disposé de telle manière qu'il peut avoir un mouvement circulaire horizontal; les roues sont plus petites que celles de derrière, pour qu'elles puissent, lorsque ce mouvement s'opère, se placer sous le châssis qui sert de plancher au chariot: ce châssis n'a pas de limons comme celui de la charrette; mais, pour les remplacer, il a une pièce de bois longue de six à sept pieds posée perpendiculairement au-dessus du milieu de l'essieu. Cette pièce s'appelles le *timon*. L'assemblage des roues de devant, des parties qui facilitent le mouve-

ment circulaire de leur essieu, et le timon s'indiquent par le nom d'*avant-train*.

186. On trouve dans les *Mémoires de l'Académie des sciences* année 1733, un excellent mémoire de M. Couplet, contenant des recherches très-utiles sur l'usage des traîneaux et des charrettes. Nous allons en donner un extrait. L'usage des charrettes et des traîneaux est si ancien, dit M. Couplet, qu'il serait étonnant que ces machines n'eussent point toute la solidité qui leur est nécessaire, et toutes les commodités qu'on en peut attendre. Un traîneau sur un plan parfaitement dur et poli sera mu par la moindre puissance, quelle que soit la charge du traîneau. Une charrette dont les roues seraient parfaitement dures et rondes, et dont l'essieu et les moyeux seraient aussi parfaitement durs, polis et centrées, étant sur un plan horizontal parfaitement dur et poli, sera aussi mue par la moindre puissance, quelle que soit la charge de la charrette. Mais il s'en faut de beaucoup que les charrettes, les traîneaux et les chemins où ils passent aient les perfections dont nous venons de parler. Les roues des charrettes ne sont pas parfaitement rondes, les clous de leurs bandes y font même des éminences qui obligent la charrette et sa charge à s'élever; les chemins sont remplis de tant d'éminences et d'ornières, qu'il faut continuellement monter et descendre, qu'on est obligé d'appliquer aux charrettes et aux traîneaux un nombre considérable de chevaux pour les traîner. Ce nombre de chevaux ne peut pas être déterminé par la charge seule de la voiture; il faut encore avoir égard aux chemins par lesquels elle doit passer. Nous avons indiqué dans le chapitre précédent quelle est la résistance qu'on éprouve, en faisant parcourir les différentes espèces de chemins à une charge placée sur une voiture ordinaire. Le traîneau demande une troisième attention, c'est la longueur des traits du dernier cheval de volée.

187. Si l'on est obligé de convenir que, dans les chemins pavés, le traîneau a un avantage réel sur la charrette, en ce que le traîneau glisse sur le pavé comme sur un plan et en touche seulement les parties supérieures, au lieu que la charrette a souvent ses roues enfoncées entre deux pavés, et est par conséquent obligée de monter comme sur un petit plan plus roide que le plan général du pavé, il faut aussi avouer que la charrette a un autre avantage sur le traîneau, en ce que le frottement de l'essieu de la charrette dans le moyeu de ses roues est moindre et plus facile à vaincre que le frottement du traîneau sur le pavé, car on n'a aucun levier pour vaincre celui-ci, et l'on a presque tout le rayon de la roue pour vaincre le frottement qui se fait dans le moyeu, de sorte que la ténacité du frottement est à la force qui peut le vaincre, étant appliquée à la circonférence de la roue, comme le rayon de l'essieu est au moyeu de la roue. L'on voit tous les jours des charrettes, attelées de trois chevaux, porter autant de pierres qu'un traîneau attelé de sept à huit chevaux. L'on est assez porté à croire que cet avantage est compensé et détruit par les difficultés que la charrette trouve à passer pardessus les éminences du pavé; mais cette difficulté même qu'elle trouve dans son chemin se compense en partie par les avantages qui suivent. Si la charrette trouve quelque difficulté à monter l'éminence d'un pavé, elle trouve ensuite de la facilité à descendre de l'autre côté; elle acquiert même, en le descendant, par son propre poids, une force capable de lui faire monter une partie de l'éminence du pavé suivant, et cette force acquise, aidée de la puissance moyenne des chevaux, suffira pour monter un pavé entier, quoique cette puissance moyenne ne soit point capable seule de lui faire monter ce pavé. Ainsi une charrette en repos prête à monter l'éminence d'un pavé ayant reçu, pour la mettre en mouvement, un coup de collier plus vif que la force

nier cheval de la volée fatiguât plus que les autres; mais cette élévation des crochets donnerait un levier égal à toute cette élévation, qui dans les tournans pourrait faire renverser le traîneau, que l'on n'emploie cependant que pour que sa charge soit plus en sûreté que dans une autre voiture. Il est vrai que, si l'on n'avait qu'une route droite à parcourir, ces crochets trop élevés ou ces mâts entés sur le devant du traîneau se pourraient employer.

190. Les roues sont les parties les plus importantes d'une charrette ou d'un chariot; c'est elles qui rendent le tirage plus ou moins facile, et plus ou moins avantageux; elles méritent le plus mûr examen, pour déterminer les dimensions et les formes qui leur conviennent le mieux. Dans une roue on distingue plusieurs parties, savoir : le *moyeu*, *l'essieu*, les *rais*, les *jantes*, et le *cercle* qui environne les jantes. On appelle *moyeu* la partie centrale de la roue traversée par l'axe qui se nomme *essieu*; le *moyeu* est réuni avec la circonférence de la roue par plusieurs rayons qu'on désigne en pratique par le nom de *rais*. La *circonférence* est formée par plusieurs *arcs* du même cercle, on les appelle *jantes*; et le cercle de fer extérieur qui parcourt le terrain sur lequel cette roue tourne, sert aussi à lier solidement cet assemblage. La première question qui se présente d'abord est de savoir si les grandes roues sont réellement préférables aux petites, et quelle est la grandeur du diamètre qui présente le moins d'inconvéniens et le plus grand nombre d'avantages.

191. Le tirage du cheval se fait de son poitrail directement à l'essieu de la charrette; l'essieu engagé dans les moyeux des roues les pousse en avant, par l'intérieur de leur *moyeu*, et les oblige à tourner, et par conséquent à parcourir un espace égal au chemin circulaire que fait un point quelconque de la circon-

férence de la roue autour de son essieu. Le rayon de la roue qui porte sur le sol peut donc être regardé comme un levier ; le point du sol où porte le rayon, ou contre lequel ce rayon *arcboute*, peut être regardé comme l'appui du levier ; et le centre de la roue comme le point où est appliquée la puissance ; ainsi cette puissance surmontera d'autant plus facilement les obstacles que la roue rencontrera sur le chemin qu'elle parcourt, et soulèvera d'autant mieux le poids de la voiture sur toutes les différences de niveau, que le rayon aura une plus grande longueur. Mais cette longueur du rayon est encore plus avantageuse sous un autre point de vue. La résistance qui s'oppose au tirage dépend principalement du frottement de l'essieu contre les moyeux ; il est évident que la longueur du rayon sert à la puissance de bras de levier pour surmonter ce frottement, et que le rapport qu'il y a entre sa valeur totale et la force nécessaire pour le vaincre, est comme cette longueur du rayon, à la distance qu'il y a entre le centre et le point où le frottement concentre son activité ; de sorte que, si le rayon de la roue était de 8 décimètres, et celui de l'essieu de 2 centimètres, il ne faudrait employer qu'une portion de force égale à la quarantième partie de la valeur du frottement de l'essieu contre les moyeux pour le vaincre. Outre cela, la grandeur du rayon est avantageuse, parce qu'il allonge l'arc d'immersion de la roue dans les cavités que le sol présente. Par un tel moyen les ornières sont moins profondes, et les obstacles à surmonter sont abordés par un plan incliné ; ce qui diminue leur influence sur l'augmentation de la résistance à vaincre, et toutes les parties de la voiture avancent avec un mouvement plus doux. Mais, si la grandeur des roues est telle que l'essieu soit placé à une hauteur au-dessus du poitrail du cheval, il est certain

tie de la force étant dans ce cas dirigée vers le terrain,

devient inefficace. Si on recherche géométriquement quelle doit être la hauteur des roues pour obtenir le *maximum* d'effet, supposant que la longueur du tirage soit déterminée comme elle l'est ordinairement par la longueur des charrettes, ou plutôt par la distance qui se trouve entre l'essieu et le bout du limon, et faisant abstraction de toute autre circonstance, on retrouve que cette hauteur doit être telle, que le tirage se fasse de haut en bas sous un angle de 45 degrés. Pour peu qu'on réfléchisse cependant à cette proposition, on la retrouve absolument inadmissible en pratique, puisque elle exigerait des roues d'un diamètre de 8 mètres au moins. Des roues aussi démesurées seraient extrêmement pesantes et coûteuses; les *essieux* devraient être fort longs, pour que la charrette ne fût pas exposée à verser; les *moyeux* devraient aussi être fort longs, pour ne pas vaciller sur l'essieu : ainsi la charrette ne pourrait pas entrer par les portes ordinaires, pas même par celles des villes, et ne pourrait pas circuler dans la plupart des rues. Il faut tout combiner dans la construction d'un instrument dont l'usage est fréquent; on doit avoir égard en même temps au coût, à la solidité, à la conservation et à la commodité des animaux qu'on emploie. C'est pourquoi, en laissant à part les raisons géométriques, l'usage n'a donné que 2 mètres de diamètre aux plus grandes roues : par là, le poitrail du cheval se trouve un peu au-dessus du centre de l'essieu, et par conséquent le tirage a pour levier presque tout le rayon de la roue.

192. Il est important que les roues soient exactement rondes, que leur circonférence se trouve dans un même plan perpendiculaire à l'essieu, et que le moyeu soit précisément dans le centre. Les roues qui n'ont pas toutes ces propriétés sont très-désavantageuses, elles fatiguent extrêmement les chevaux, et elles occasionent des secousses périodiques. Le défaut de rondeur pro-

[illegible] suivant lui, *être inclinés* de 14 à 15 degrés, et [illegible] de [illegible] degrés : en sorte que, dans tous les cas, [illegible] de la jante excède les rais, et qu'aucun ne [illegible] écuanteur; car il est facile, dit-il, [illegible] se trouve plus souvent penchée que [illegible] parfaite. M. *Grobert* ajoute qu'il a fait [illegible] cette espèce de roues à plusieurs voi-[illegible]

[illegible] soient fort longs pour empêcher [illegible] sur son essieu, et pour qu'ils s'usent moins [illegible] frottement se fait sentir sur une plus [illegible] encore que les moyeux soient fort [illegible] d'autant plus [illegible] le général d'*Abouville* [illegible] plusieurs cas [illegible]

[illegible] grands fardeaux, [illegible] angle droit sur [illegible] en arrière, de [illegible] fassent plus ou-[illegible] ni tourner [illegible] elles ne feraient que [illegible] du pliant en [illegible] soient écar-[illegible] y aura encore [illegible] les roues auront [illegible] écraser les roues : [illegible] bande et seraient [illegible] posé à angles [illegible] des brancards, le chariot irait de travers. Il faut remarquer que l'on donne ordinairement un peu

de *devers* aux essieux des voitures légères qui ont des roues à jantes étroites; en sorte que les roues sont inclinées en dehors. Plusieurs considérations justifient cet usage à l'égard de cette espèce de roues. D'abord, si les essieux étaient droits, les rais, à cause de l'écuanteur, frotteraient contre les ornières, s'useraient beaucoup et s'y chargeraient de boue; et si des pierres se trouvaient à côté des ornières, forcés dans un espace étroit, ils seraient exposés à se briser; mais ces inconvéniens et plusieurs autres disparaissent lorsqu'on fait usage des roues à larges jantes.

197. Si l'on fait attention aux obstacles que les roues rencontrent continuellement, on trouvera qu'elles doivent avoir quelque jeu dans leurs moyeux, et que l'essieu doit glisser en dedans et en dehors des roues. La plus grande marque qu'une voiture va bien et marche aisément c'est lorsque les essieux glissent continuellement en avant et en arrière dans les moyeux; un chariot ou un carrosse vont bien et aisément lorsqu'on les entend frapper alternativement contre les bras et les clous.

198. Le défaut des essieux en fer est celui de casser inopinément, surtout dans le temps des gelées. Celui des essieux en bois est de casser, quoique plus lentement, au collet, d'exiger un plus grand diamètre, et de donner conséquemment à la résistance du frottement une plus grande force en augmentant le rayon au bout duquel il agit. Les Anglais ont cru détruire ce double inconvénient en construisant des essieux dont le corps est en bois et les fusées en fer. Leur méthode est utile en plusieurs cas. Les mises, c'est-à-dire les parties qui prolongent leurs fusées et qui sont encastrées dans le bois, sont rectangulaires et sans aucune saillie, et afin que le cahot ne les force pas à s'échapper latéralement, ils les ont traversées par des boulons à écrou vertical. M. *Grobert* regarde ce détail de construction comme défectueux, parce que,

dit-il, l'essieu en est affaibli par le percement qu'il nécessite, et parce que le filet des écrous est trop fatigué par l'excès de la charge. Ce défaut qui n'est pas très-sensible lorsque la voiture roule sur des chemins unis et qui ne sont pas coupés par des ornières, l'est davantage sur les chaussées pavées, et partout où le terrain est pierreux et résistant. M. *Grobert* propose pour l'éviter de disposer l'essieu de la manière représentée par la figure 6 (planche V). Le corps de cet essieu est en bois. Chaque fusée *a* est prolongée par une mise *b* qui fait talon saillant entaillé dans le corps de l'essieu, auquel elles sont liées par quatre étriers fourchus, assurés par des boulons à écroux dans leur partie supérieure. L'emploi de deux fusées séparées ne peut convenir qu'aux voitures de commerce, dont la marche n'est pas rapide. Cette espèce d'essieu donne la facilité de changer une fusée à la fois en cas de réparation. Pour les voitures de toute autre espèce, on doit préférer un essieu en fer entaillé dans un corps de bois: cette construction est plus coûteuse, mais plus sûre.

199. Il faut que les jantes soient faites de courbes naturelles, afin que leurs fibres ne soient pas coupées, et il n'y faut laisser aucun *aubier*. car s'il est dans la partie concave de la *jante*, le tenon du rai le fera éclater, et s'il est dans la partie convexe, les bandes, et particulièrement les bouts, seront forcés par la charge à entrer dans la jante, et la roue perdant sa rondeur, sera plus difficile à rouler: ira par sauts et secousses, qui contribueront à sa destruction, et à casser la bande qui porterait à faux, Quoique les jantes n'aient pas besoin d'un épaisseur considérable, cependant il leur en faut donner une, d'autant plus grande, que les tenons des rais seront plus forts.

200. La conservation des routes et la plus grande facilité des transports exigent que les roues des voitures destinées à porter de grands fardeaux aient la plus grande largeur possible, sans cependant

qu'elles deviennent d'un poids excessif. Les roues à jantes étroites dégradent les chemins pavés, rendent bientôt impraticables ceux qui ne le sont pas, ou qui ne sont que ferrés, par la profondeur et la multiplicité des ornières et des trous: alors le tirage devient plus difficile; le voiturier met beaucoup plus de temps à faire sa route; les cahots abîment la voiture, brisent souvent les essieux, fatiguent les chevaux, enfin les marchandises en souffrent. Les roues à larges jantes font moins d'ornières, effacent celles des roues étroites, aplanissent les chemins, et compriment ceux qui sont sablonneux.

201. Personne n'a jamais douté des avantages qui devaient résulter, pour la conservation des chemins, de l'adoption des roues à larges jantes ordonnées en France, depuis quelques années, pour les grands chariots et autres voitures destinées à transporter de lourdes charges; mais les opinions étaient partagées sur la question de savoir si ces nouvelles roues ne rendaient pas les voitures plus difficiles à traîner. Les expériences de M. le comte *de Rumford*, que nous avons déjà rapportées (177), ne laissent plus aucun doute à cet égard: elles prouvent que le tirage au lieu d'être plus pénible, devient au contraire bien moins fatigant. Plusieurs voituriers assurent qu'avec le même nombre de chevaux, ils peuvent actuellement charger leurs voitures d'un quart de plus qu'ils ne transportaient autrefois sur des roues étroites, et que les nouvelles roues sont beaucoup plus fortes et plus durables que ne l'étaient les anciennes.

202. Les roues à larges jantes étant sujettes à se surcharger de beaucoup de boue, on a reconnu qu'en plaçant derrière elles une traverse de bois garnie de deux plaques de fonte correspondantes aux jantes, dont elles ne soient éloignées qu'autant qu'il faut pour ne pas frotter, ces plaques de fonte nettoient conti-

nuellement les bandes, et les dépouillent de la boue qu'elles ramassent en tournant.

203. Les chariots à essieux de grandeurs inégales sont très-utiles pour la conservation des chemins, parce qu'ils aplanissent à la fois quatre portions au lieu de deux; mais par cette même raison le tirage en est plus dur et exige plus de force. On a cherché en Angleterre à en généraliser l'usage, mais sans succès. Les voituriers n'ont pas voulu les adopter, quoique les règlemens leur accordassent les avantages de passer librement les barrières, de porter telle charge que bon leur semblerait, et d'y atteler autant de chevaux qu'ils jugeraient convenable.

204. L'élévation du centre de gravité est un défaut des voitures à deux roues. Si on pouvait sans inconvénient le placer sous l'essieu, la voiture ne serait pas sujette à verser; la marche des roues serait beaucoup plus droite et plus uniforme, et le chargement se ferait avec moins de difficulté. M. *Grobert* a proposé de baisser le plancher de la voiture, en sorte que le centre de gravité descende autant que faire se peut, sans que pourtant ce plancher touche le sol, lorsque l'enfoncement de la roue excède beaucoup la hauteur de la jante. La fig. 5 (pl. V) représente une charrette suivant la méthode de M. *Grobert*. On pourra, dit-il, supprimer les ridelles *AA* et même la grande équerre de fer *b*, *b* qui consolide ce système, lorsqu'on voudra une charrette dont les brancards seuls forment le fond, afin d'y charger des marchandises d'un plus grand volume. Il faudra seulement, dans ce cas, rassurer par quelques ferrures les montans droits qui portent les essieux, pour les unir au fond de la voiture. Cet assemblage a l'inconvénient de rendre la construction de la charrette plus compliquée et moins solide.

205. Les limons les plus longs sont les plus avantageux pour le soulagement du cheval limonier; mais de si longs

limons ne peuvent avoir lieu dans la plupart des lieux habités; où le tournant et la largeur des rues leur donnent des bornes absolues. La longueur des limons est avantageuse sous un autre rapport; on peut les employer comme levier, lorsqu'une charrette est embourbée, pour rabattre de côté et d'autre ; ce qui se fait en calant une roue, pour l'empêcher de reculer dans le temps que l'autre surmonte l'obstacle : après quoi, ayant accoré ou calé la roue montée, pour l'empêcher de redescendre, l'on fait monter l'autre roue à son tour, en rabattant les limons sur la roue la première montée, ce qui facilite beaucoup; en sorte qu'avec deux chevaux l'on peut par ce moyen surmonter des obstacles que quatre ne surmonteraient qu'avec peine en faisant leur tirage direct.

206. Plusieurs auteurs ont enseigné que la position la plus avantageuse de la ligne de traction d'un cheval attelé à une voiture, est celle qui est parallèle au plan du terrain parcouru par la voiture. Mais *de Parcieux* prétend que cette position n'est pas la plus avantageuse, et qu'il est utile au contraire que la ligne de traction soit inclinée, et que les *palonniers* soient placés à une hauteur moindre que celle du poitrail des chevaux. Ce savant (*Mémoires de l'Académie*, 1760) croyait que l'action seule du poids du corps d'un cheval fait la traction, et que la force des muscles des jambes de derrière et autres ne sert qu'à pousser la masse en avant et mettre le poids en état d'agir continuellement. Quoique cette opinion soit très-douteuse, et qu'elle semble démentie par les expériences faites avec le dynamomètre de M. *Régnier*, qui prouve (160) que la force absolue moyenne de traction que peuvent exercer les chevaux est de 400 kilogrammes, tandis que leur poids moyen est moindre, plusieurs raisons néanmoins portent à croire qu'une inclinaison modérée de la ligne de traction est avantageuse.

Premièrement, il est indubitable que, quand même le poids du cheval ne serait pas le seul élément qui produit le tirage, c'est cependant le principal ; et l'expérience prouve qu'une charge médiocre, placée sur le dos du cheval, lui donne la faculté de tirer un peu plus. Ainsi donc, en inclinant les traits, et plaçant les palonniers au-dessous de la hauteur du poitrail des chevaux, cette inclinaison, qui fait peser sur leur dos une portion quelconque de la charge de la voiture, leur est plus favorable que nuisible, pourvu qu'elle soit modérée. Secondement, l'inclinaison des traits, en soulevant les roues de devant, qui à cause de leur petitesse éprouvent un frottement plus grand, les dispose à surmonter plus facilement les obstacles et tend à en diminuer les frottemens. Troisièmement, si on suppose même que la ligne de traction parallèle au terrain soit la plus avantageuse, il faudra néanmoins placer les palonniers un peu au-dessous de la hauteur du poitrail, parce que les chevaux en agissant plient nécessairement les jambes, et alors leur corps se trouvant plus bas que quand ils avaient les jambes verticales, cette obliquité apparente rend réellement parallèle la traction, qui sans cela deviendrait inclinée du haut vers le bas. *De Parcieux* voulut reconnaître, au moyen de l'expérience, quel est l'angle d'inclinaison le plus avantageux des traits. Il fit ajuster une pièce de fer au bout du levier d'un manége de pompe ; il fit que le cheval tirât pendant des temps égaux ; il plaça le palonnier à différentes hauteurs, pour voir à laquelle il lui paraîtrait avoir le moins de peine, et qui serait en même temps la moins sujette à inconvénient : il lui parut que, les traits étant inclinés de quatorze à quinze degrés, le cheval allait avec plus d'aisance ; ce qui met le palonnier à la hauteur de la moitié du poitrail ou environ, pourvu que les traits n'aient que la longueur né-

cessaire pour que le palonnier ne batte pas contre les jarrets.

207. Quelques cochers et rouliers sont dans l'usage d'atteler les chevaux le plus près possible de l'avant-train; ce qui rend la ligne de tirage plus oblique et augmente la charge sur le dos du cheval. Cette pratique peut être recommandée sur les routes montueuses et en mauvais état; mais sur les bonnes routes on n'en doit attendre d'autre succès que de permettre aux voitures de tourner plus court, et de traverser plus facilement des chemins tortueux. M. *Edgeworth* a indiqué une pratique utile, c'est de faire couler l'anneau auquel les traits sont attachés le long d'une tringle de fer fixée au collier; on aura la facilité ainsi de varier la ligne de tirage en allongeant et raccourcissant une courroie à boucle qui soutient les traits.

208. Les charrettes à deux roues ont le défaut bien grave, que le cheval limonier porte une partie du fardeau de quelque manière que la charge soit en équilibre sur l'essieu : car, en descendant une hauteur, tout le poids tombe sur le cheval, et en montant il tombe de l'autre côté en arrière, et l'enlève; ce qui lui ôte une grande partie de sa force. S'il est chargé à dos, en sorte que le poids ne l'emporte pas en montant, dans un terrain uni, il sera doublement fatigué de porter et de tirer; et, lorsque les roues tombent dans des creux d'un côté ou d'autre, les limons de la charrette donnent dans les flancs des limoniers, par où il en périt beaucoup. On peut diminuer ce défaut en substituant un timon aux deux limons du brancard, et en attelant deux chevaux de front au lieu d'un seul. Il serait avantageux que ce timon, placé dans le milieu du corps de la voiture, reposât sur une anse où il pût jouer librement.

209. Le poids placé sur une charrette n'étant supporté que par deux roues, lorsqu'une tombe dans un creux ou dans une ornière, pour la tirer de ce creux il faut relever la moitié de la

charge ; mais, lorsqu'il y a quatre roues comme au chariot, il est certain que les quatre enfonceront moins dans les terres molles que les deux, et si une roue tombe dans un creux, ce ne sera que le quart de la charge du chariot à relever.

210. Si les charrettes ont des défauts que les chariots n'ont pas, elles ont aussi des avantages qui dans plusieurs occasions les rendent préférables à ceux-ci. Elles sont moins pesantes; la différence de poids d'une grosse charrette et d'un chariot de même force, est quelquefois de 200 à 300 kilogrammes. Leur construction est plus simple et moins coûteuse. A charge égale, les chariots exigent une force plus grande pour les traîner; les voitures de commerce montées sur quatre roues emploient communément un cheval ou deux de plus que celles à deux roues, qui portent une charge équivalente. En effet, dans les voitures à quatre roues, où celles de devant sont plus petites que celles de derrière, la valeur du frottement et de la résistance des obstacles ne pourra pas être divisée par le simple rayon des grandes, mais par la moyenne entre ceux des roues inégales, dans le cas que les diamètres des deux essieux soient égaux, comme ils devraient toujours l'être, et comme on le pratique ordinairement. Mais dans le cas que les diamètres fussent inégaux, alors ce serait la moyenne entre les deux rapports; ainsi donc les voitures à deux roues ont un plus grand diviseur de la résistance, et exigent moins de force pour la surmonter.

211. Les charrettes sont avantageuses dans les chemins pavés, unis et en bon état. Les chariots sont préférables dans les chemins de terre, dans ceux qui sont montueux, irréguliers et mal entretenus. En se servant des charrettes, on fait plus de travail avec moins de dépenses; mais aussi on opprime les chevaux limoniers, et en très-peu de temps on les rend invalides. En se servant des chariots, les marchandises sont moins

exposées à des accidens, et n'éprouvent pas autant de secousses et de cahots.

212. Deux devis, l'un d'une charrette, l'autre d'un chariot, serviront pour faire connaître à nos lecteurs les détails de construction, les proportions, le nom et l'usage des différentes parties qui les composent. Le premier devis se rapporte aux figures 3 et 4 (planche V), et le second aux figures 12 et 13.

Devis d'une charrette destinée à porter une charge de 2,000 *à* 2,500 *kilogrammes*. (Voyez figures 3 et 4, planche V.)

La charrette doit être composée de deux limons 1, 1 de bon brin de chêne sec, longs de 6 mètres; le diamètre du milieu sera de 12 centim., le bout de derrière de 11 centim., et celui de devant de 95 centimètres.

Sept éparts de bois d'orme 2, 2, 2, serviront à tenir et lier les deux limons. Ils auront $1^{\text{mèt.}}$, 1 de longueur, et 11 centim. sur 5 centim. de grosseur. Le premier épart de devant sera situé à $1^{\text{mèt.}}$, 7 des bouts des limons, et celui de derrière à 12 centim. Les cinq autres seront séparés à égale distance entre les deux.

Quatre burettes de brin de frêne ou de chêneau fendu doivent être attachées avec des chevilles de chêne sur les éparts; ces burettes seront écartées l'une de l'autre tant plein que vide; leur longueur sera de $3^{\text{mèt.}}$, 4, et leur grosseur égale à celle des éparts.

Deux ranchers horizontaux de bois d'orme 4, 4 seront situés sur le corps de la charrette, l'un à 1 mètre du bout de derrière, et l'autre à pareille distance du premier épart du devant; ils auront à chaque bout une mortaise percée à jour, qui sera de la grandeur à passer les ranchers verticaux 5, 5: leur

longueur sera de 1 mèt., 20, et la grosseur de 11 centimètres sur 8 centimètres.

Les quatre ranchers verticaux 5, 5 de bois d'orme seront encastrés sur les bouts des horizontaux, en sorte qu'ils dépassent en dessous de 8 centimètr. pour serrer les côtés de dehors des limons, et les ridelles qui seront posées sur les limons : leur longueur sera de 1 mèt., 08, et leur grosseur de 6 centimètres sur 5 centimètres.

Quatre ridelles de chêneau 10, 10 auront 3 mèt., 4 de longueur, et 6 centimètres de diamètre.

Quatre montans de chêne 7, 7, longs d'un mètre, et de 5 centimètr. sur 3 centimèt. de grosseur, seront encastrés sur les limons à 18 centimèt. des bouts de derrière, et 18 centimèt. des bouts de l'épart de devant; on passera par devant les quatre ridelles, lesquelles ridelles seront percées à distance égale entre les montans, aussi bien que le dessus des limons, pour y placer trente roulons 8, 8, 8 de chaque côté, lesquels seront de bois de chêne ou de coudre longs d'un mètre; leur diamètre sera d'un millimètre et demi.

L'essieu de la charrette sera de fer, long de 2 mèt., 18 : les hauteur et longueur du corps seront de 9 centimètres sur 6 centimètres. Les roues auront 1, mèt., 6 de diamètre.

Deux échatignoles de bois d'orme 9, 9 seront placées sous les limons. Elles seront longues de 1 mèt. 5; la hauteur du milieu sera de 15 centim., celle des bouts de 11 centim., la largeur de 12 centim. Elles seront encastrées, dans le milieu, de 6 centim. de hauteur sur 1 mèt., 09 de large pour la place de l'essieu, lequel essieu sera placé à 2 mèt., 12 du derrière de la charrette. Les échatignoles seront attachées sous les limons par quatre bonnes chevilles de chêne chacune.

Il faudra quatre rondelles de fer de 12 centim. de diamètre,

épaisses de 4 millim. percées pour passer dans les fusées de l'essieu devant et derrière les moyeux des roues. Il faudra aussi deux esses de fer, passant au bout de l'essieu pour arrêter les roues, et deux ragots de fer situés à côté du dehors des limons à 1 mètre des bouts de devant, les ragots servent pour arrêter la dossière du limonier.

Devis d'un chariot destiné à porter une charge de 3,000 *à* 4,000 *kilogrammes.* (Voyez figures 12 et 13, planche V.)

213. La flèche 1, 1 sera de bois de brin d'orme, longue de 3 $^{\text{mèt.}}$, 24 ; et de 13 centi. de diamètre. Le bout de devant, qui se nomme mufle, sera aplati dessus et dessous, revenant à 9 centi., arrondi par le bout, bandé de fer de la même largeur; cette bande, épaisse de 3 millim. $\frac{1}{10}$, sera attachée avec douze clous à tête plate, et un boulon de 13 millim. de diamètre traversera les deux bouts de la bande, et la flèche par le côté, à 18 centimètres du bout du mufle ; il sera arrêté d'un côté par une clavette ; l'on fera un trou sur le mufle qu'il traversera à 15 centimètres du bout.

Train du derrière du chariot.

La sellette 2, 2 qui sera posée sur l'essieu, doit être de bois d'orme, longue de 1 $^{\text{mèt.}}$, 031 ; sa hauteur et sa largeur seront de 13 centi. sur 15 centi. Le derrière du bout de la flèche sera posé sur le milieu de l'essieu. Les deux empanons 3, 3 de même bois, longs de 2 mètres, auront un diamètre de 13 centim. ; ils doivent embrasser les côtés de la flèche, et être arrêtés par deux liens de fer en caboches ; les bouts de derrière seront écartés de 24 centi. de celui de la flèche; ils reposeront sur l'essieu, où la sellette sera posée et encastrée, pour recevoir les bouts des empanons susdits et de la flèche. La sellette sera liée avec l'essieu

par un étrier de fer à chaque bout : les deux bouts d'empanons qui dépasseront de 12 centi. derrière l'essieu et la sellette, seront traversés de deux contre-sayes de fer à tête plate, pour être attachés par un clou à la sellette.

Train de devant du chariot.

L'essieu de bois d'orme sera long de 2$^{mèt.}$, 5. Les deux roues auront 1$^{mèt.}$, de hauteur; deux armons de bois d'orme 4, 4, longs de 2 mètres et de 11 centi. de diamètre, situés sur l'essieu à 54 centi. l'un de l'autre, auront les bouts de derrière écartés l'un de l'autre de 1 mètre franc. La sassoire 5 de même bois, longue de 2 mètres, et de 9 centi. de diamètre, aplanie dessus, sera posée sur les bouts d'armons, à 11 centi., et elle y sera attachée par deux chevilles de fer, dont la tête sera encastrée dans le bois, afin qu'elle ne puisse empêcher la sassoire d'aller et venir suivant le mouvement des roues; elle sert pour faire glisser les bouts d'armons sous la flèche, dans le temps que le chariot tourne à droite ou à gauche; les bouts d'armons seront éloignés du devant de l'essieu de 8 centimètres, ferrés de deux anneaux, percés sur les côtés à 18 centi. du bout pour passer le bouton de fer qui tient aussi les limoniers. La sellette aura les mêmes dimensions que celle de derrière; elle sera posée sur l'essieu, encastrée dessous en proportion des armons; il y aura aussi une évidûre dans le milieu, de 26 centi. de long et 7 cent. de hauteur, pour donner jeu au mufle de la flèche, qui doit être placé sur le milieu de l'essieu. La sellette sera jointe à l'essieu avec 2 étriers de fer, 12 caboches, et 2 sayes de fer, qui traverseront la sellette, les armons et l'essieu. Le lisoir sera proportionné à la sellette; il sera posé dessus, attaché avec la cheville ouvrière de 65 centi. de long et de 5 centi. de diamètre; la cheville passera dans le milieu du lisoir; la sellette, le mufle

de la flèche, et l'essieu, sous lesquels elle sera arrêtée par une clavette et une rondelle pour servir de contre-rivure, attachée par quatre clous à l'essieu. L'on fera deux mortaises sur le lisoir à 18 centi. des bouts, pour y encastrer deux ranchers de bois d'orme, longs de 32 centi., et 27 millim. de diamètre. Ils servent à tenir les brancards en état sur le lisoir. Il doit y en avoir de même sur la sellette du train de derrière.

Les deux brancards seront de bois de brin de chêneau longs de 4 mètres, le diamètre des bouts de devant 11 centi., et 13 centi. pour ceux de derrière; ils seront assemblés par devant avec deux épars d'orme à la distance de 35 centi. l'un de l'autre: les *épars* auront 8 centi. de large sur 4 centi. de hauteur. Le corps du brancard sera situé entre les ranchers du lisoir et ceux de la sellette. C'est sur ce brancard qu'on place les fardeaux qui doivent être transportés.

214. M. *Le Sage*, ingénieur des ponts et chaussées, ayant fait par ordre du gouvernement deux voyages en Angleterre en 1781 et 1785, en a recueilli plusieurs renseignemens utiles sur les voitures de commerce qui y sont en usage.

Nous allons en donner un extrait :

Le diamètre des roues des chariots qui fréquentent les grandes routes d'Irlande est ordinairement (*a*) de 5 pieds 8 et 10 pouces pour les grandes roues, et de 4 pieds 5 et 6 pouces pour les petites. Les unes et les autres ayant 9 pouces de largeur de jante, un chariot attelé de 8 ou 9 chevaux porte 10 à 12 milliers. Les roues qui ont 6 pouces de largeur de jante sont ferrées de deux bandes et celles de 9 pouces en ont trois.

(*a*) Le pied vaut $0^{\text{mèt}}$, 324839; le pouce, $0^{\text{mèt}}$, 027069; la ligne, $0^{\text{mèt}}$, 002265,

Voici le Tableau donné par M. Lesage, des dimensions et du prix des roues les plus en usage en Angleterre.

	1re. dimension.		2e. dimension.		3e. dimension.	
Deux grandes roues chacune du diamètre.	5 pieds.	8 pouces.	5 pieds.	10 pouces.	5 pieds.	10 po.
Deux petites chacune du diamètre. . . .	4	4	4	6 $\frac{3}{4}$	4	6
Largeur des jantes.	»	6	»	9	1	4
Leur épaisseur.	»	4	»	5	»	5
Diamètre du moyeu.	1	6	1	8	1	8
Son épaisseur.	1	4	1	6	1	6
Longueur des rais	1	9	1	3	1	8
Leur largeur près du moyeu.	»	3 $\frac{1}{2}$	»	5	»	7
Celle près des jantes.	»	3	»	4	»	6
Leur épaisseur.	»	2 $\frac{1}{4}$	»	3	»	3 $\frac{1}{2}$
Prix	373 fr.	60 c.	466 fr.		653 fr.	50 c.

On ne fait pas un usage fréquent des roues de 16 pouces de largeur à cause de leur pesanteur, et parce qu'elles sont sujettes à se tordre; les bandes de fer des roues de première dimension sont formées de quatre parties, avec un demi-pouce d'intervalle entre elles. Elles sont fixées aux jantes par des cloux qui sont fraisés sans saillies au-dessus des bandes.

Les essieux en fer le plus en usage ont depuis 7 pieds 5 pouces jusqu'à 7 pieds 11 pouces d'un bout à l'autre, et depuis 5 pieds 6 pouces jusqu'à 5 pieds 8 pouces, à compter du milieu des jantes. Les essieux en bois sont de différentes dimensions, et ceux dont on fait le plus d'usage pour les fortes charges sont les suivans. Le corps de l'essieu a 10 et 12 pouces en carré. Le plan inférieur est courbé parallélement au bombement de la chaussée; les branches de fer qui y sont emboîtées, et sur lesquelles tournent les moyeux, ont 1 pied 4 pouces de long, 3 pouces 6 lignes de diamètre à l'emboîture, et 2 pouces 6 lignes à l'extrémité. Les deux branches de fer fixées au-dessous, des deux côtés de l'essieu, par trois boulons avec écrou, ont

chacune 3 pouces de large et 1 pouce d'épaisseur. Les essieux des chariots et voitures à deux roues pour le service intérieur de la ville de Londres, sont presque tous en bois avec leurs extrémités en fer, et dans des proportions relatives. Les Anglais ont l'attention de ne point laisser excéder l'essieu au-delà du moyeu, et les clavettes se trouvent recouvertes par des boîtes à vis et de forme cylindrique. Un grand chariot à 8 chevaux, avec des roues de 9 et 12 pouces de largeur de jante, et suivant les autres dimensions expliquées ci-dessus, le tout construit en bons matériaux et avec soin, coûte 2,200 francs. Un chariot dont les roues auraient 16 pouces de largeur de jante, coûte 2,400 francs.

215. Il y a plusieurs sortes de charrettes. On appelle charrettes *à ridelles*, celles semblables à la charrette dont nous avons donné le devis. La *guimbarde* est une espèce de charrette beaucoup plus longue que large, avec des cornes ou perches en avant et en arrière pour retenir la paille et autres objets plus volumineux que pesans, amoncelés fort haut; du reste la construction est semblable à celle de la charrette à ridelles. Le *tombereau* est une sorte de charrette, dont le fond et les deux côtés sont faits de grosses planches enfermées par des gissans. Un tombereau sert à transporter les choses qui tiennent du liquide : comme les boues, le sable, la chaux, les terres et les gravois. Nous donnerons une description plus détaillée du tombereau dans le chapitre suivant. Le *haquet* est une espèce de charrette sans ridelles, qui fait la bascule quand on veut, sur le devant de laquelle est un moulinet qui sert, par le moyen d'un câble, à tirer les gros fardeaux pour les charger plus commodément. On se sert ordinairement du haquet dans les villes et lieux de commerce dont le terrain est uni, pour voiturer les tonneaux remplis de vins ou d'autres liqueurs; pour transporter du fer, du

plomb, des pierres de taille, des balles, ballots, caisses, et même des bois de charpente. Les figures 10 et 11 (pl. V) représentent un haquet de brasseur à bascule ; *a b*, un des poulains ou brancards, dans lesquels les épars *d d* sont emmortaisés; *m*, un des deux limons; *f*, extrémité du sommier; *p*, tenons de l'épars de la limonière ; *c*, une des boîtes du moulinet ; *y*, boulon de fer qui assemble les limons aux poulains ; *d d*, épars des poulains ; *n n*, le moulinet ; *t v*, flottes qui empêchent la roue de s'approcher du poulain ; *z*, traverse qui retient la bascule. Le *fardier* est une espèce de charrette sans ridelles, avec des roues plus hautes qu'à l'ordinaire, et qui sert à transporter des pièces de charpente et autres lourds fardeaux sous l'essieu. Nous donnerons la description des fardiers dans le chapitre IV.

216. Les voitures dont faisaient usage les anciens Romains, étaient beaucoup plus petites que les nôtres. Les traces des roues creusées dans le pavé de plusieurs restes de voies antiques, et surtout à Pompéïa, indiquent qu'elles n'avaient pas plus d'un mètre de voie, c'est-à-dire, d'écartement entre leurs roues, tandis que nos voitures ont 1$^{mèt.}$, 2 ou 1$^{mèt.}$, 6 de voie. Et comme, dans presque toutes les espèces de voitures, on observe que la hauteur des roues soit à peu près égale à la largeur de la voie, il paraît donc que leurs roues ne devaient guère avoir qu'un diamètre d'un mètre. Quelques monumens antiques où des chariots sont représentés, semblent nous indiquer aussi que les roues n'étaient pas écuées, ou bien faiblement, et que leur moyeu était très-peu saillant.

CHAPITRE III.

Transport des terres et des menus matériaux.

217. Ces transports se font ordinairement à la brouette, au camion, ou au tombereau. Le choix n'en est pas indifférent; chacun de ces moyens est avantageux dans des cas particuliers; mais il cesse de l'être, et devient même défavorable dans les autres. L'expérience seule peut donner des notions satisfaisantes; ce sont les résultats qu'on a obtenus d'elle, que nous allons consulter.

218. Jusqu'à la distance de 100 ou 130 mètres, le transport des terres fait avec les brouettes est ordinairement le plus avantageux : à une plus grande distance ce sont les camions traînés par des hommes, ou les tombereaux conduits par des chevaux, qui deviennent plus avantageux. Sur les rampes, dont les pentes sont considérables, les transports par brouettes sont beaucoup plus faciles et moins pénibles.

219. Il y a deux espèces de brouettes; dans la première, représentée fig. 1 (planche IV), la caisse de la brouette, qui contient la charge, est placée au-dessus du châssis; dans la seconde, figure 2, la caisse se trouve au-dessous de ce châssis, et la roue est un peu plus grande que celle de l'autre espèce de brouettes. La première se décharge avec plus de facilité; mais elle est plus vacillante: la seconde a plus de stabilité, elle fatigue un peu moins l'ouvrier qui s'en sert, parce que le diamètre de la roue est un peu plus considérable; mais elle se prête avec moins d'agilité et de vitesse au mouvement latéral du déchargement.

220. Lorsqu'une brouette est chargée, l'homme, en saisissant les bras de cette brouette à $1^{\text{mèt.}}$ à peu près de distance de l'essieu,

soutient une partie de la charge et une partie du poids de la brouette; le reste du poids est porté par le point du terrain sur lequel pose la brouette. M. *Coulomb* a trouvé en soutenant une brouette chargée au moyen d'un peson, au même point où l'homme tient les bras, que la partie du poids qu'il soutenait était de 18 à 20 kilogrammes; que lorsque la brouette était vide, il ne portait que 5 à 6 kilogrammes. Il a encore trouvé que la brouette étant chargée, les bras soutenus par des cordes attachées à un point très-élevé, il fallait; pour la pousser sur un terrain sec et uni, une force de 2 à 3 kilogrammes, force qui dépend en grande partie des petits ressauts que la roue éprouve sur le terrain; elle varie suivant l'adresse du travailleur, qui ne sait pas toujours se rendre maître du mouvement de sa brouette. M. *Coulomb*, ayant comparé et calculé l'effet utile que produit un homme qui transporte des fardeaux à dos, avec celui que fournit un homme qui transporte les mêmes fardeaux sur une brouette, a trouvé qu'il est comme 100 à 148; ensorte que sur un terrain sec, uni et horizontal, cent hommes avec des brouettes feront à peu de chose près la même quantité de travail que 150 hommes avec des hottes.

221. Une brouette contient à peu près un pied cube de terre. Suivant les expériences faites par *Vauban*, et plusieurs fois réitérées, une toise cube de terre peut être menée en 250 brouettées. La pesanteur moyenne d'un pied cube de terre, peut être évaluée entre 55 et 60 kilogrammes. Une brouette menée par un homme de moyenne force, peut parcourir dans une journée 15,000 toises de chemin en plaine (*a*), dont la moitié chargée, c'est-à-dire un développement de 6 lieues de 2500 toises, chacune en plaine, et seulement les deux tiers en montant et

(*a*) La toise vaut 1$^{\text{mèt.}}$,949040.

d'étendue, c'est-à-dire quatre lieues, en fixant les temps du travail à dix heures par jour, et celui du repos à trois heures, qui font en tout treize heures de sujétion pendant les mois de mars, avril, mai, juin, juillet, août, septembre et octobre; pour les quatre autres mois, on peut réduire le temps du travail à sept heures, pendant lesquelles les ouvriers ne font guère plus de demi-journée d'été, à cause du froid et du mauvais temps.

222. *Bélidor* dit que, dans une terre ordinaire où il faille un piocheur, et deux qui brouettent, ils peuvent transporter deux toises et un tiers cubes, à dix toises de distance dans un jour d'été, et un peu plus de la moitié en hiver. Ce résultat, que donne *Bélidor* (*Science des ingénieurs*), est moindre que celui de *Vauban*, qui assigne pour la tâche moyenne d'un ouvrier de moyenne force, le transport dans une journée, de deux toises cubes à 15 toises de distance. M. *Gauthey*, dans son *Traité de la construction des ponts*, donne les résultats très-utiles d'observations faites par lui et par d'autres ingénieurs des ponts et chaussées sur la fouille et le transport des terres. Quand le transport des terres, dit M. *Gauthey*, se fait sur des brouettes, il s'exécute par relais. Si le terrain est horizontal, on peut placer chaque relais à 30 mètres de distance; et à 20 quand la pente du chemin est de 8 centimètres par mètre. Un ouvrier emploie, à charger dans des brouettes un mètre cube de terre, c'est-à-dire à peu près 27 pieds cubes de terre végétale, de terre franche ou de sable. 0,60
de glaise, terre dure pierreuse, tuf. . 0,70
de vase 0,75
} Partie d'une heure de travail.

Pour transporter à un relais un mètre cube
—de terre végétale; terre franche, ou sable. 0,45
—de glaise, terre dure pierreuse, tuf, vase. 0,55
} Partie d'une heure de travail.

On trouve ordinairement, ajoute M. *Gauthey*, de l'avantage

[illegible] aux brouettes, quand la distance [illegible] mètres; quand cette distance n'est [illegible] quelquefois, préférablement aux [illegible] par des hommes.

[illegible] charger dans les camions, un mètre

[illegible] franche, sable.	0,63	Partie d'une heure de travail.
[illegible] pierreuse, tuf. . .	0,73	
[illegible]	0,78	

[illegible], celui de chaque mètre cube s'estime [illegible] en supposant qu'on mette trois ouvriers [illegible] dans un camion, contenant 0,2 mètres

[illegible] franche.	0,042	Heure de chaque camion traîné par trois hommes.
[illegible] tuf. .	0,049	
[illegible]	0,052	

[illegible] mètres, allant et venant dans [illegible] de terre végétale, terre

[illegible] . . .	0,060	Partie d'une heure de chaque camion traîné par trois hommes.
[illegible] vase.	0,070	
[illegible]	0,030	

[illegible] M. *Perronnet* a donné une description détaillée [illegible] il se servit avec beaucoup de succès aux [illegible] de Neuilly, et des expériences qu'il fit sur cette [illegible] transport. La figure 7 (pl. V) représente un de ces [illegible] la forme d'un prisme triangulaire, étaient [illegible] qui les traversait un peu au-dessous de [illegible] ils pouvaient contenir 7 pieds cubes, [illegible] et 8 au remblai. Un seul cheval traînait deux [illegible] plaine, il en menait deux aussi communément, et jusqu'à trois et quatre en descendant à la décharge, suivant le plus ou moins de pente des chemins, ce qui occasionait une économie sur le prix des transports des terres, sans charger

davantage le cheval. Ces camions forment moins d'ornières, et sont plus facilement et plus promptement déchargés que les autres voitures dont on se sert ordinairement. Il y a deux manières de s'en servir : la première, c'est de les faire tirer par des hommes; dans ce cas, il a un timon et deux traverses, dont une avec deux crochets de fer ; deux hommes s'attellent avec des bretelles, en s'appuyant sur la première traverse. L'autre manière est de les faire tirer par des chevaux ; un seul cheval, aux travaux de Neuilly, et sur une pente de deux ou trois pouces par toise, conduisait communément deux ou trois de ces camions, et quelquefois quatre par un temps sec. Pour cela, on plaçait au derrière du camion une traverse, au milieu de laquelle était un anneau de fer, pour recevoir un crochet qui se trouvait au bout du timon du camion, et qui pour lors n'avait pas besoin de traverse pour l'attelage. L'essieu traversant le camion un peu au-dessous du centre de gravité, le camion était retenu par un des côtés au moyen d'un crochet, qui, lorsqu'il était levé, abandonnait la caisse à son poids excentrique, et lui permettait de se renverser sous le plus petit mouvement d'impulsion.

Ces camions prismatiques avaient les dimensions suivantes :

Longueur de la base.	3	pieds	4	pouces.
Largeur suivant la longueur de l'axe	2	pieds	1	pouce.
Distance entre les deux brancards.	2	pieds	10	pouces.
Hauteur perpendiculaire.	2	pieds	6	pouces.

Détail du prix d'un camion.

	liv.	sous.
Le train et la limonière pour fourniture et façon.	10	»
Assemblage de la caisse, composée d'un patin, de 4 courbes et 2 poinçons..	5	»
Il entre dans cette caisse une toise carrée de planches d'un pouce d'épaisseur.	4	»
Une paire de roues de 4 pieds 10 pouces de diamètre.	20	»
	39	»

Report	39l.	s.
Fer.		
Six épierres, pour retenir la caisse, pesant ensemble 8 livres.	2	4
Deux plates-bandes, pour entretenir l'assemblage des courbes, du poids de 6 liv.	1	13
Un crochet et une pommelle, pour assujettir la caisse lorsqu'elle est chargée, pesant ensemble 3 livres.	1	»
Clous de la caisse.	1	»
Un essieu du poids de 60 livres.	16	10
Un cent pesant de fer, pour les bandages des roues.	18	»
Embattage des roues, compris les clous.	10	»
Les deux ragots des limons.		3
Total.	89	10

La plupart des prix ci-dessus étant augmentés, on peut maintenant évaluer le coût de chaque camion à 100 liv.

Expériences de M. Perronet sur le transport avec les camions prismatiques.

224. 1ère. EXP. Un camion, portant 7 pieds cubes mesurés au déblais à une distance de 86 toises sur une rampe de 3 à 4 po. par toise en montant, faisait 61 voyages par jour, produisant 477 pieds cubes; ce qui fesait revenir la toise à 2 livres. Alors un cheval d'une force médiocre pour ces camions, y compris l'homme, se louait 4 livres, et la journée d'un ouvrier terrassier coûtait 26 sous.

2ème. EXP. A 150 toises sur une rampe de 2 et 3 pouces, en montant sur moitié de la distance, le reste étant uni, le camion faisait 40 voyages par jour; ce qui faisait revenir la toise à 3 liv.

3ème. EXP. A 215 toises en terrain uni, il faisait 38 voyages; ce qui faisait revenir la toise cube à 3 liv.

4ème. EXP. A 286 toises, dont 120 en montant sur une rampe de 4 pouces par toise et le reste en terrain uni, il faisait 29 voyages par jour, ce qui faisait revenir la toise cube à 3 liv. 13 sous.

5ème. EXP. A 330 toises, dont un tiers sur une rampe de 3 à 4 pouces par toise en montant, et le reste en terrain uni, il faisait 24 voyages, et le transport revenait à 5 livres 4 sous la toise.

6ème. EXP. A 470 toises, dont environ un tiers à monter sur une rampe de 3 ou 4 pouces par toise, et le reste en terrain assez uni, il faisait régulièrement 20 voyages. La toise revenait à 6 liv.

7ème. EXP. A 735 toises de distance, réduite en descendant sur une pente de 4 pouces par toise, un train de deux camions tiré par un cheval faisait 40 voyages, et portait 14 pieds cubes par voyage; ce qui fait revenir la toise à 1 liv. 9 sous.

8ème. EXP. A 68 toises, en descendant sur une rampe de 2 pouces 4 lignes par toise, un train de trois camions tiré par un cheval faisait 66 voyages, et portait 21 pieds cubes; ce qui faisait revenir la toise à 12 sous 6 deniers.

9ème. EXP. A 150 toises sur la même pente, un pareil train de trois camions, faisait 40 voyages, et la toise revenait à 18 sous.

225. Quand on se sert des camions et des tombereaux, il y a de l'avantage à employer le plus grand nombre de chargeurs qu'il est possible; mais il ne faut pas qu'ils se nuisent mutuellement. Le prix du transport varie avec le nombre des chevaux dont les tombereaux sont attelés. Le temps du chargement étant perdu pour la marche, cette perte est d'autant plus sensible, que les tombereaux sont plus grands, augmentant à mesure que la distance diminue; on doit donc se servir de tombereaux d'autant moins forts, que les distances sont moins considérables. On a trouvé, dit M. *Gauthey*, qu'en admettant les prix payés actuellement à Paris, on devait employer des tombereaux à un cheval, jusqu'à la distance de 313 mètres; à deux chevaux,

jusqu'à une distance de 1104 mètres; à 3 chevaux, jusqu'à 2111 mètres; à 4, jusqu'à 3873 mètres. Cela posé et supposant que chaque cheval peut traîner un demi-mètre cube de terre, environ 14 pieds cubes, on aura pour l'estimation des frais de transport d'un mètre cube, les résultats suivans:

Temps du chargement lorsque le tombereau est attelé d'un cheval, et contient 0,5 mètre.

— de terre végétale, terre franche, sable. . . .	0,108	Partie d'une heure de deux tombereaux jusqu'à environ 300 mètres de distance.
— de glaise, terre dure, pierreuse, tuf. . . .	0,123	
— de vase.	0,133	

Lorsqu'il est attelé de deux chevaux, et contient un mètre cube

— de terre végétale, terre franche, sable. . . .	0,217	Partie d'heure d'un tombereau à deux chevaux, depuis 300 jusqu'à 1100 mètres de distance.
— de glaise, terre pierreuse, tuf.	0,230	
— de vase.	0,296	

Lorsqu'il est attelé de trois chevaux, et contient un mètre et demi cube

— de terre végétale, terre franche, sable. . . .	0,325	Partie d'heure de $\frac{3}{4}$ de tombereau à 3 chevaux, depuis 1100 jusqu'à 2000 mèt. de distance.
— de glaise, terre dure, pierreuse, tuf. . . .	0,353	
— de vase.	0,400	

Lorsque le tombereau est attelé de 4 chevaux, et contient deux mètres cubes

— de terre végétale, terre franche, sable. . . .	0,434	Partie d'une heure d'un demi-tombereau à 4 chevaux, depuis 2000 jusqu'à 4000 mètres de distance.
— de glaise, terre dure, pierreuse, tuf. . . .	0,460	
— de vase.	0,534	

Temps pour parcourir une distance de 100 mètres, en allant et venant avec une charge

— de terre végétale, terre franche, sable. . . .	0,060	Partie d'une heure d'un tombereau.
— de glaise, terre dure, pierreuse, tuf. . . .	0,070	
Temps du déchargement.	0,050	

226. Pour faciliter le déchargement, les grands tombereaux sont à bascule; à l'égard des petits, quand on veut les décharger, on ne fait autre chose, après avoir ôté la fermeture du cul du tombereau et avoir détaché les limons de la dossière du cheval, que d'élever les bouts des limons et

incliner la caisse du tombereau, pour que les matières qui y sont contenues puissent glisser par elles-mêmes. Les limons des tombereaux à bascule ne sont pas formés d'une seule pièce avec les brancards, qui finissent à 4 décimètres du devant de la caisse; ils sont traversés par un fort boulon de fer, placé à 6 décimètres des bouts des brancards ou poulins, qui traverse aussi les extrémités des limons. Ce boulon sert de point de rotation à la bascule, qui est retenue par une pièce de bois qui, passant dans deux étriers de fer posés solidement sur chaque limon, retient les bouts des poulins. Lorsqu'on veut faire jouer la bascule et décharger le tombereau, il suffit d'ôter cette traverse, au-dessous de laquelle les limons sont assemblés par un épart de fer qui en empêche l'écartement. Voyez la figure 8 (planche V), qui représente un tombereau; 1, 1 un des poulins ou brancards; *b b*, un des limons; *c*, boulon qui réunit les extrémités des poulins et des limons, et autour duquel agit la bascule; *d*, traverse passée dans des étriers de fer qui retient la bascule. On a supprimé dans la figure la roue droite, pour laisser voir les pièces qui composent la caisse. Toutes les autres parties du tombereau sont les mêmes que celles d'une charrette, dont nous avons donné la description détaillée dans le chapitre précédent, et il n'en diffère que parce qu'il a la bascule, et qu'au lieu de ridelles la caisse a pour fermeture latérale des planches.

227. On transporte quelquefois des terres par eau, sur des bateaux pontés qui en contiennent 40 ou 50 mètres cubes. On estimera facilement, au moyen de ce qui précède, le chargement et le déchargement, qui se font avec des brouettes, ou en jetant les terres à la pelle. Quant au transport, il varie beaucoup suivant les circonstances, et on ne peut l'évaluer qu'en appréciant, dans chaque localité, la dépense que le bateau occasionera cha-

que jour, et le nombre de voyages qu'il pourra faire dans une journée.

228. Le transport des terres se fait souvent en les conduisant d'un lieu bas à un lieu plus élevé : alors il faut pratiquer des rampes, auxquelles on donne ordinairement 8 centimètres de pente par mètre. Les transports par camions et par tombereaux deviennent également plus pénibles en montant qu'avec les brouettes, et on fait moins de chemin dans le même temps. Si le déblai devait descendre à une grande profondeur, le transport par brouettes exigerait des rampes d'un développement considérable, et dont la formation entraînerait des déblais inutiles. Il peut être plus avantageux de renoncer alors à ce genre de transport, et d'élever les terres en les jetant à la pelle, à différentes reprises, sur des banquettes disposées par étages, et qu'on place ordinairement à 2 mètres les unes au-dessus des autres. Ce dernier mode d'exécution convient pour le cas d'une fondation étroite et profonde, où on serait gêné par le manque d'espace. Il y a d'autres cas où le déblai doit être sur une grande largeur, et où les terres doivent être élevées à une hauteur plus ou moins considérable sur le bord de la fouille : tel est celui d'un canal ou d'un bassin, lorsque les terres fouillées dans son emplacement servent à former des levées à l'entour. L'usage alors est de faire suivre aux brouettes des rampes placées sur le talus des levées, et qu'on fait disparaître quand l'ouvrage est terminé ; mais quand la hauteur est considérable, le transport doit être très-cher à raison des grands développemens des rampes. On a employé, dans un cas pareil, aux ouvrages exécutés dans l'île des Chiens, près de Londres, un procédé qui consiste à établir sur le talus des levées des rampes formées par des madriers de sapin portés sur des chevalets, dirigées perpendiculairement à la base de ce talus, et espacées à 18 ou 20 mètres. Au sommet de chaque

rampe étaient placées des poulies de renvoi, sur lesquelles passait une corde, aux deux extrémités de laquelle étaient attachées des brouettes; et, à un point intermédiaire, était fixé le palonnier d'un cheval : ce cheval parcourant l'intervalle des deux rampes, une brouette chargée montait, dirigée par son conducteur, et l'autre brouette vide descendait. Celle-ci, étant ensuite chargée, on faisait retourner le cheval, et ainsi de suite : il est aisé de s'assurer que, quand la hauteur des remblais passe 6 à 7 mètres, ce procédé doit moins coûter que celui qui est en usage.

229. On lit, dans les *Annales des arts et manufact.*, Tome XLIV, qu'un agriculteur, voulant élever promptement une digue, imagina le moyen suivant, qui réunit à l'économie du temps celle des bras et de la dépense. Il éleva deux forts poteaux, en laissant entre eux un espace de 30 mètres, et il tendit fortement de l'un à l'autre de ces poteaux une corde inclinée, le long de laquelle devait descendre le sceau rempli de terre : la hauteur de ce sceau détermina l'inclinaison de la corde, dont l'une des extrémités fut attachée au premier poteau à 3 mètres et demi de hauteur, et l'autre au second poteau, de manière que le sceau ne pouvait toucher la terre ni être arrêté dans sa course. La corde inclinée porte un moufle garni d'un double crochet auquel le sceau est suspendu ; la poulie, dont le diamètre est peu considérable, doit avoir une gorge très-profonde, afin qu'elle puisse se retourner sur la corde lorsque le sceau est enlevé, et qu'elle soit constamment maintenue dans sa position verticale. On peut placer plusieurs poulies sur la corde inclinée, et suspendre tel nombre de sceaux qu'on voudra, pourvu qu'elle soit assez forte pour les soutenir. Les sceaux, arrivés au bout de leur course, sont décrochés et vidés ; pour les ramener à l'endroit d'où ils sont partis, on élève deux poteaux semblables aux premiers, et on tend de l'un à l'autre une corde, mais dont l'inclinaison est dirigée en sens opposé.

On détache le moufle, on le place sur cette corde, et aussitôt que le sceau est suspendu au crochet, on lui donne une légère impulsion, et il suit la direction de la corde jusqu'au point du départ. Dans le cas où l'on voudrait transporter des terres à une plus grande distance, il suffirait d'éloigner les poteaux, ou d'en élever plusieurs à la suite l'un de l'autre, et de répéter l'opération jusqu'à ce qu'on soit arrivé au lieu des travaux en décrochant les sceaux d'un côté, et les suspendant de l'autre; il faut deux hommes pour remplir un sceau de terre, et l'accrocher à la poulie; un seul suffit pour l'enlever et le vider. Ce moyen est économique, parce qu'il faut moins d'hommes que n'en emploient des brouettes, dont les roues s'enfoncent très-profondément dans un terrain mou ou détrempé par la pluie, et ralentissent ainsi le transport des terres.

230. Le transport sur des plans horizontaux ou peu inclinés des autres menus matériaux, tels que des briques, des moellons, des tuiles, ardoises, du ciment, des plâtres et autres, se fait d'une manière analogue à celui des terres. M. Gauthey, dans son *Traité de la construction des ponts*, a ajouté aux données très-utiles qu'il a indiquées pour évaluer le transport des terres, les suivantes pour celui des moellons : Ce transport, dit-il, se fait par des brouettes quand la distance est peu considérable. On emploie alors par mètre cube de moellons

pour le chargement dans les brouettes	0,8	partie d'une heure de manœuvre.
pour le transport à un relais de 20 ou 30 mètres . .	0,6	

On suppose ici que la pesanteur spécifique de la pierre est de cent quarante livres le pied cube. Si la distance est plus grande, on se sert ordinairement de camions ou de petits tombereaux, qui contiennent 0, 21 mètre cube, et sont traînés par quatre hommes. On emploie, pour charger dans les camions, un mètre cube

de moellons o, 83 heures de manœuvres. En employant trois manœuvres pour charger les camions, il faut pour un mètre cube de moellons :

Temps du chargement, les camions contenant chacun 0,21 mètres cubes	0,58	heure de 4,767 camions traînés chacun par quatre manœuvres.
pour parcourir 100 mèt. allant et venant. . . .	0,06	
de chargement	0,03	

Enfin, quand la distance est considérable, le transport des moellons se fait dans des tombereaux traînés par des chevaux. Il sera facile de l'estimer au moyen des bases données ci-dessus pour le transport des terres, en comptant o, 85 heures de manœuvre pour le chargement d'un mètre cube dans les tombereaux, et observant que chaque cheval que nous avons supposé pouvoir être chargé d'un demi-mètre cube de terre, pesant à peu près trois milliers, ne pourra traîner que o, 375 mètres cubes de moellons. On emploie assez fréquemment, pour le transport des moellons, des *bards* ou civières portées par des manœuvres, et on les préfère surtout aux brouettes quand la distance est courte, et le chemin difficile. Ce genre de transport doit être en général plus pénible, et par conséquent plus coûteux.

CHAPITRE IV.

Transport des pièces de bois.

231. Lorsque les forêts exploitées sont dans un terrain ferme, que la surface ne présente que de faibles sinuosités, que les charrois s'y exécutent avec facilité, on peut rassembler les bois équarris, les sortir sur des voitures, soit pour les conduire directement aux lieux où ils doivent être consommés,

soit pour les réunir dans les places de rassemblement d'où ils doivent être transportés à leur destination ; dans les grandes forêts, on pratique ordinairement des éclaircis, des routes ; on dresse même à l'avance des chemins qui traversent la masse des arbres dans toutes les directions, et qui conduisent aux lieux où le bois équarri doit être déposé. Si les bois à abattre sont sur le penchant ou le sommet de montagnes escarpées, hérissées de rochers qui interceptent le passage, ou dans des terrains marécageux qui s'opposent à toutes espèces de charrois, souvent il faut perdre l'espérance d'en retirer les pièces assez grandes et assez fortes pour être employées en charpente. Lorsqu'il y a impossibilité de sortir du gros bois, on exploite les troncs des gros arbres en bois de fente ou de chauffage, dont les morceaux assez petits et assez légers peuvent être transportés à dos d'ânes, de mulets ou de chevaux.

232. Sur les penchans roides des montagnes, dont quelques parties peuvent être dressées, on établit des couloirs sur lesquels on fait glisser les bois jusque dans les vallées, où les moyens de transport devenant plus praticables, on met en usage tous ceux que la situation du terrain présente. Un couloir est un espace étroit dressé sur le penchant d'une montagne ; on y fait descendre en glissant les bois qui peuvent y être conduits. Lorsque le terrain est ferme, que rien n'empêche de le dresser, le couloir se fait sur le terrain ; mais, s'il se présente des obstacles, on construit le couloir avec des troncs d'arbres placés et assujettis solidement les uns à côté des autres. Dans quelques chaînes alpines, on exploite en éclaircis les pins, sapins, mélèzes qui croissent sur les penchans des côtes escarpées, et même sur la sommité des montagnes ; on établit des couloirs sur le bord desquels on traîne les arbres abattus,

afin de les réunir dans le vallon. Il y a peu de vallées au milieu desquelles ne coule un torrent ou un ruisseau plus ou moins rapide ; si le cours d'eau n'est pas embarrassé dans sa marche, on peut s'en servir pour conduire les bois à leur lieu de rassemblement. Lorsque des rochers ou des escarpemens interrompent le courant en divers endroits, ou qu'il contient trop peu d'eau pour transporter les bois, on fait dans les forêts d'une grande étendue des rigoles de navigation, soit avec des bois recreusés, soit avec des madriers calfatés et goudronnés dans les joints. Sur les montagnes qui restent couvertes de neige un temps de l'année plus ou moins considérable, on profite des momens où la neige est solide et ferme, pour conduire directement les bois à leur destination. Dans les terrains marécageux, on creuse des rigoles dans lesquelles les eaux s'écoulent ; ces rigoles servent aussi de moyens de transport. Les glissoires que l'on établit sur le penchant des montagnes, sont à sec ou à eau. Sur les glissoires à sec, formées sur le terrain ou par le moyen de madriers réunis, les bois s'usent et se brisent, lorsque la pente est roide et longue ; on est obligé dans ce cas de faire usage des glissoires à eau, dans lesquelles les bois descendant moins vite, éprouvent moins de frottement, se brisent et s'usent moins. Ces sortes de glissoires sont formées d'arbres recreusés ; on leur donne une pente à peu près uniforme ; on a soin dans les changemens de direction de les disposer de manière à ce qu'elles fassent un grand contour, afin que le bois glissant ne puisse être arrêté dans sa marche. M. *Hassenfratz* dit dans son *Traité de l'art de la Charpenterie*, duquel ouvrage nous avons extrait textuellement plusieurs détails contenus dans ce chapitre, que dans une glissoire mouillée près de Moutier en Savoie, de 2,500 toises de long, on transporte du haut en bas 115

stères (30 cordes), c'est-à-dire, à peu près 1,920 pieds cubes en douze heures.

233. Lorsqu'on veut conserver toute la fraîcheur du bois exploité, et que l'aspérité des glissoires leur ferait perdre de la valeur, on *slite* le bois. *Sliter*, c'est descendre les bois sur des grands traîneaux que les hommes conduisent et dirigent dans des chemins tracés sur le penchant de la montagne. Ces chemins sont boisés; on les construit en plaçant deux rangs de morceaux de bois dans le sens de la longueur du chemin; sur ceux-ci on place des bûches transversales, éloignées les unes des autres de 7 ou 8 décimètres. Elles sont fortement fixées avec des chevilles de bois sur les pièces longitudinales. Lorsque, pour éviter un long détour, on est obligé de traverser un petit vallon, on forme avec des pièces longitudinales un pont volant et à jour, sur lequel il n'y a que la place nécessaire pour mettre les pieds, et celle que ces bûches transversales occupent. Le traîneau chargé glisse sur ces bûches: on les graisse pour le faire glisser plus facilement. Un conducteur placé par-devant tient le traîneau par ses deux bras; il le tire un peu lorsqu'il éprouve de la difficulté à glisser; il le retient lorsqu'il glisse trop vite, les bûches transversales lui servent d'appui. Un homme descend ordinairement 2 ou 3 stères à la fois, et il remonte son traîneau en le portant. Ce procédé est assez généralement employé dans les Vosges et en Allemagne.

234. Le transport des bois se fait par terre ou par eau. Le transport par eau est toujours le plus facile et le plus économique; le courant lui-même, dans beaucoup de circonstances, suffit pour l'effectuer. On peut transporter les bois par eau de trois manières différentes, en les laissant voguer à bois perdus, en les réunissant en train, ou en les chargeant sur des bâteaux. La pre-

mière est la plus défavorable; elle n'est employée communément que pour les bois à brûler, et dans les lieux où la valeur du bois perdu est beaucoup moindre que les frais de transport de toute autre manière. Quant à la seconde, on réunit, à côté les unes des autres, les pièces de bois; on en place un assez grand nombre à la file, pour donner 7 à 8 mètres de longueur à un train. A chaque bout, les pièces sont percées d'un trou oblique, ou perpendiculaire. Le trou perpendiculaire sert à poser une hart ou des branches torses, qui servent de cordes pour attacher les pièces à des perches qui les traversent. Le second sert à enfoncer une cheville, pour réunir les pièces de la même manière. On forme ainsi un radeau, et on règle ses dimensions, en raison de la largeur des canaux, ou de la sinuosité des rivières. Des deux méthodes d'attacher les pièces aux perches, la première est préférable; l'eau qui séjourne dans le trou perpendiculaire y détermine un commencement de corruption. Il y a des bois dont la pesanteur est plus grande que celle de l'eau; pour les faire flotter, on attache aux radeaux des tonneaux vides.

235. Le transport par terre, des bois de petits échantillons, tels que solives ou chevrons, se fait en les plaçant sur des charrettes ou sur des chariots. On pose par le travers de la voiture, et sur le devant, un morceau qui élève les pièces et les empêche de toucher le cheval; ou bien on place les pièces obliquement. Cette seconde méthode devient quelquefois embarrassante sur des chemins étroits.

236. Les grosses pièces que l'on meut difficilement, et qu'on ne peut placer sur des voitures sans employer des machines, ou un trop grand nombre d'hommes se chargent dessous une espèce de charrette qu'on nomme fardier. Une chaîne entoure les pièces de bois qu'on doit transporter, vers leur centre de gra-

vité, et passe sur un rouleau posé sur la voiture et près de l'essieu; un long bras de levier passe dans ce moulinet, ; à l'extrémité de ce levier est attaché une corde qui descend, passe sous les poulins, remonte sur le levier, et redescend plusieurs fois; de sorte que cette corde fait l'effet d'un palan, et sert à soulever avec beaucoup de facilité les pièces de bois, quoique très-lourdes, et à les retenir à la hauteur où on les a soulevées. Par ce procédé, un conducteur intelligent charge souvent à lui seul des fardeaux considérables. Si la pièce à transporter est beaucoup plus longue que le fardier, il est difficile de la mettre en équilibre, en plaçant le rouleau ou moulinet qui tient suspendu le fardeau sur le milieu du fardier; il faudrait la reculer jusqu'à ce qu'il fût dans la position propre à équilibrer la charge. Mais comme le rouleau doit poser près de l'essieu, afin que le cheval de limon ne soit ni trop chargé, ni soulevé, il est nécessaire que cet essieu puisse changer lui-même de position : en conséquence, au lieu d'être placé à demeure sous les deux limons, on le fixe dans deux échatignoles mobiles, qui portent une rainure qui entre dans la languette des limons : elles peuvent ainsi couler et changer de place. On arrête, par le moyen de deux boulons, l'essieu et les roues dans la position qu'ils doivent avoir. La figure 9 (planche V) représente un fardier; *a b*, limon droit du fardier; *e*, rouleau sur lequel passe la chaîne qui suspend les pièces à transporter; *h*, échatignole que l'on peut déplacer et faire couler le long du limon; *e d*, levier; *t v*, la corde du levier; *f*, tasseau; *s g*, pièce suspendue, qu'on doit transporter.

237. Lorsque les pièces sont très-longues, au lieu d'un fardier on se sert souvent de deux *triqueballes*. On appelle *triqueballe* un essieu avec deux roues, sur lequel est emmanché un timon. Les deux triqueballes sont écartés de manière qu'ils se partagent également le fardeau. Pour charger les pièces de bois, on

les entoure avec une chaîne qu'on attache à l'essieu, après avoir disposé le triqueballe de manière que le timon se trouve élevé dans une position verticale. On incline ensuite le timon, et on lui fait reprendre sa position horizontale; en abaissant ainsi son extrémité, on soulève la pièce, on l'attache avec de fortes cordes au timon pour la tenir suspendue, et on la fait supporter à l'essieu; on en fait autant avec le second triqueballe, et la pièce se trouve entièrement soulevée. Un seul triqueballe sert pour transporter les pièces qui ont beaucoup de grosseur et une longueur médiocre. On fait grand usage du triqueballe dans les arsenaux et places de guerre, pour transporter les grosses pièces de canon sans affût. Voici un devis d'un triqueballe d'artillerie qui se reporte aux figures 1, 2 (planche V).

Devis d'un triqueballe.

238, 239 et 240. Le triqueballe sera composé d'un timon 1, de deux empanons 2, 2; d'un essieu; de roues hautes de 2$^{mèt.}$ 3, et d'une sellette 3; le timon sera de brin de chêneau, long de quatre mètres; sa grosseur par le gros bout de derrière aura 13 cent., et 9 déc. à celui de devant, lequel bout sera enfourché d'un fer de 4 déc. de long, au bout duquel il y aura un crochet; l'enfourchure sera attachée avec 18 clous, et un boulon de fer qui traversera la clavette par dessus.

Deux empanons de bois d'orme, longs de 1$^{mèt.}$ 4, et de 13 cent. de diamètre, seront attachés au derrière du timon par les côtés avec deux chevilles de bois de chêne, et deux liens de fer arrêtés par 8 caboches sur le timon au bout de l'assemblage des empanons; il y aura un crochet de fer à patte, lequel sera attaché avec neuf clous.

Un essieu d'orme long de 2$^{mèt.}$ 2, sur lequel seront posés les bouts de derrière d'empanons et de timon, aura au-dessus une sellette de bois d'orme longue de 9 décim., proportionnée à

la grosseur du corps de l'essieu, et attachée sur l'essieu de même que celle du train de derrière d'un chariot.

Les deux roues auront $2^{mét.}$, 1 de hauteur; le moyeu sera long de 54 cent.; son diamètre aura 42 cent., autour duquel il y aura 14 rais de bois de chêne de 9 cent. de diamètre, et 7 jantes d'orme, dont la hauteur et largeur seront de 14 cent. sur $0^{mét.}$, 13; après quoi l'on passera les roues dans les fusées de l'essieu. Le diamètre de la grande emboîture du triqueballe sera de 2 déc., la petite aura 13 cent. de diamètre. M. *Grobert* dit que trois chevaux avec un triqueballe traînent six poutres de 10 mètres sur 32 cent. d'équarissage, et dont le poids est d'à peu près 5500 kilogrammes.

241. Le transport des gros mâts pour la marine, depuis les forêts jusqu'aux arsenaux où ils doivent être employés, présente souvent beaucoup de difficulté. Ces énormes pièces de bois ont jusqu'à 24 à 27 mètres de longueur, 8 à 9 décimètres de diamètre au gros bout, 4 ou 6 décimètres au petit bout, et pèsent 3500 à 4000 kilogrammes; quelquefois même il y en a qui ont des dimensions encore plus fortes. La première opération qu'il faut effectuer c'est de les débûcher de la forêt, c'est-à-dire, de les dégager et sortir depuis le pied des arbres d'où on les a abattus jusqu'au chemin où ils doivent être placés sur des chariots, pour les voiturer. Il faut faire ordinairement une route particulière pour la sortie de chaque mât qu'on tire par le talon ou par le gros bout, à l'extrémité duquel on joint les attelages nécessaires pour le traîner. Dans les forêts qui sont extrêmement rapides, et où les mâts peuvent s'échapper aisément par des ressauts de rochers et des pentes trop rudes, au lieu d'employer des attelages pour en tirer les mâts, il faut au contraire les arrêter tantôt par le gros bout, et tantôt par le petit, suivant que la pente est plus ou moins

rapide avec des câbles doubles et triples, qu'on amarre par deux à trois tours de corde aux pieds des arbres voisins; et ainsi laissant glisser les mâts doucement, on les conduit en biaisant peu à peu jusqu'au bout de la montagne. Les hommes qui débuchent les mâts de cette manière doivent être faits à cette sorte de manœuvre, pour lâcher peu à peu et à propos les câbles. Ceux qui ont trop de câble en main doivent tenir ferme, afin que ceux qui en ont peu et prêt à leur manquer, puissent avoir le temps d'aller amarrer leur câble à un autre pied d'arbre plus bas, afin de donner prise aux autres, à qui le câble vient ensuite à manquer. Il y a des forêts dont le débuchage se fait tantôt par des attelages, à cause des plaines qu'on y rencontre, et tantôt par des tours de corde seulement. Il y en a d'autres où les uns et les autres sont inutiles, et où il faut se servir de coulans ou couloirs qu'on trouve quelquefois faits naturellement, et quelquefois qu'il faut faire expressément. Par cette dernière méthode, les mâts sont exposés à être écorchés et dégradés par les aspérités qu'ils rencontrent en descendant avec rapidité; quelquefois ils sortent du couloir et se rompent en plusieurs pièces.

242. Les mâts étant ainsi débuchés, ils trouvent quelquefois des rivières propres à les faire flotter; mais, si cela n'a pas lieu, on les traîne sur des chariots dans des chemins disposés de manière que leur traite puisse se faire aisément. Ces chemins doivent être en ligne droite autant que faire se peut, de 50 à 60 mètres de vue pour le moins; il faut y éviter soigneusement les montées, et y éviter aussi les descentes coudoyées à zigzags. On ne saurait croire les soins et le retardement que causent le plus souvent une petite montée, et la difficulté de diriger les mâts dans un zigzag. Les inconvéniens des descentes dans une route trop rapide sont réparés

par des *corps-morts* qu'on plante sur les bords, autour desquels on donne deux à trois tours de corde pour retenir la descente. Quelquefois on ôte les roues de derrière et l'on ne fait servir que celles de devant. Les chariots pour voiturer les mâts sont proportionnés au poids qu'ils doivent supporter. M. *Gautier* (*Traité de la construction des chemins*) dit que ceux pour la conduite de mâts de 65 centim. de diamètre et au-dessus, doivent avoir les dimensions suivantes : les jantes, 11 centimètres de large, et 17 centimètres de haut; les rais, 27 centimètres de long entre le moyeu et les jantes, 8 centimètres de large et 5 centimètres d'épaisseur; le moyeu, 45 centim. de long, et 45 centim. de diam. à son renflement; l'essieu, 22 centim. de diamètre, et à son museau 11 centim.; sa longueur entre les deux moyeux sera de 69 centimètres. L'essieu de devant est monté d'une sellette plate, sur laquelle le talon du mât repose dans une entaille, et sur laquelle il est arrêté par une cheville de fer qui la perce; de plus, on les assure ensemble avec un câble, afin que le gros bout du mât ne puisse point s'échapper. L'essieu de derrière supporte le petit bout du mât; il est monté d'une sellette un peu arrondie, et il est arrêté par des câbles, mais de façon qu'il puisse cependant se mouvoir et se prêter à la manœuvre des ouvriers qu'on appelle *coudoyeurs*, dont l'emploi est de diriger dans les détours le timon du train de derrière, qu'ils conduisent comme un gouvernail. Le timon du train de devant a 3 mètres de longueur, prise à la sortie de l'essieu; celui du train de derrière, 2 mètres 9 centimètres. La voie ou la distance entre les roues est de 1 mètre 28 centimètres. On place le mât sur les trains du chariot avec beaucoup d'aisance, au moyen de deux vis tournant dans une pièce de bois écrouée, qui traverse le mât par-dessous, comme on le voit par la figure 6 (planche XVIII). La figure 5 représente un

mât placé sur son chariot; *a*, timon du devant; *b*, grosses cordes qui prennent par-dessous le talon du mât, et qui en vont faire le tour par-dessus à quelque distance; ce qui fait qu'il ne peut s'échapper de dessus la sellette de l'essieu tandis que les attelages sont en mouvement; un coin de fer, placé à l'endroit *b*, retient les cordes; *c*, est le timon du chariot de derrière posé *à rebours*, afin de manœuvrer la queue du mât, suivant la disposition de la route. Les ornières que les premières roues de devant ont tracées doivent indiquer aux ouvriers qui manœuvrent, la direction que doivent suivre les roues de derrière; le levier *d*, qu'un coudoyeur tire par-dessus le mât, oblige le timon à garder cette situation; et au contraire, lorsqu'on le veut manœuvrer du côté *d*, il faut pour lors que le coudoyeur qui tient un autre levier le tire; ce qui fait avancer le timon d'un ou d'autre côté, comme le besoin le demande : le train de derrière est éloigné à quelque distance de la queue du mât, afin qu'on le puisse faire tourner plus aisément dans les détours.

243. Il y a deux manières de transporter les mâts par eau. La première, qui s'appelle *flottage à la touche* ou *à bois perdu*, ne s'emploie que quand les localités ne permettent pas de les équiper en radeaux, ou de les voiturer par terre, comme nous avons dit précédemment. On laisse aller librement les mâts au gré du courant; des hommes suivent, et les dégagent par le moyen des câbles lorsqu'ils viennent à s'arrêter. Avant de faire flotter des mâts *à la touche* dans une rivière, il faut la disposer convenablement pour cet objet. Les rochers qui sont au milieu et qui pourraient détourner les mâts et les engager sur le travers de son lit, doivent être dissous par la mine, et ensuite les quartiers enlevés avec des câbles et des cabestans. La rivière trop resserrée et tortueuse, doit être alignée de 30 à 40 mètres de vue. La rivière étant trop rapide par ses chutes d'eau, on y

établit des *passelis* ou *écluses*. Quand elle manque d'eau, on forme des réservoirs, qu'on laisse remplir, et qu'on ouvre ensuite pour donner l'eau qu'il convient pour la flottaison des mâts. Quand les mâts sont arrêtés, on leur joint deux ou trois tours de câble, dont le bout est seulement attaché au-dessus du mât avec un clou; et l'autre bout étant joint à un cabestan, sur le bord de la rivière, on le dégage en tournant. Le mât étant dégagé, il se détache aisément des tours du câble par le peu de résistance que fait le clou.

244. Pour équiper les mâts en radeaux, on en joint six, huit ou dix ensemble, au-devant desquels et à leur petit bout on joint encore des pièces équarries pour les soulever, et des avirons pour diriger le radeau. Quelquefois enfin, les mâts étant d'une grande dimension, on n'en équipe qu'un seul avec des bois de flottaison. La figure 7 (planche XVIII) représente un mât équipé; *mn* est une aile du mât, qu'on étend autant qu'on veut en lâchant la corde ou l'endorte *o n*, qu'on retire, s'il le faut, pour ranger l'aile *mn* à côté et tout près du mât, suivant la longueur en *ml* où elle repose; elle sert à le dégager et à le faire partir plus vite; *pqhi* est un radeau de bois de flottaison de 7 à 10 mètres de long, qu'on joint à la queue du mât par des traversiers *pqhi*, à la manière ordinaire des radeaux avec des endortes ou cordes faites de brins de noisetier. Ce radeau a 4 ou 6 mètres de large, suivant la quantité de mâts qu'il doit faire flotter. Sur ce radeau il y a ordinairement un nombre suffisant de *ragers* pour le manœuvrer avec les avirons. On met aussi un aviron au gros bout du mât pour servir de gouvernail. Les radeaux ne se disposent pas partout de la même manière. C'est dans les petites rivières et dans celles qui donnent peu d'eau, qu'on pratique l'arrangement que nous venons de décrire.

CHAPITRE V.

Transport des pierres de taille.

245. Le transport des pierres de taille, qu'on désigne aussi par le nom de *bordage* s'exécute ordinairement par le moyen des voitures lorsque les pierres sont de moyenne grandeur; mais, lorsqu'elles ont de grandes dimensions et que leur poids excède sept à huit milliers métriques, les voitures, pour soutenir avec sûreté de semblables fardeaux, devraient avoir une solidité qui les rendrait très-coûteuses, et le chargement deviendrait difficile et embarrassant: voilà pourquoi on préfère alors les traîneaux. Si le poids d'une pierre qu'on doit transporter à une distance peu considérable n'est que de 600 à 800 kilogrammes, on se sert d'une petite voiture à deux roues, fig. 4 (planche IV), qu'on appelle *binard*, à laquelle sont attelés six ou huit manœuvres. Pour cet effet, on fixe sur les parties latérales des poulins ou brancards, des crochets auxquels les ouvriers qui tirent attachent leurs bretelles. Quelques-uns de ces crochets sont posés en sens contraire pour pouvoir tirer à rebours et faire reculer le binard dans les endroits resserrés, et pour pouvoir le retenir et modérer sa marche dans les descentes rapides. Le timon a deux ou trois mètres de longueur et porte perpendiculairement deux ou trois traverses horizontales, auxquelles sont appliqués les manœuvres qui tirent. Les roues ont un mètre de diamètre. Plusieurs de ces binards ont les roues pleines. Il y en a quelques-uns à quatre roues, lesquelles ont 3 déc. à peu près de diamètre. Ceux à deux roues sont plus commodes pour le chargement et le déchargement. D'autres binards, qui doivent transporter des fardeaux plus considérables, ont au lieu de

roues, des rouleaux. Ces rouleaux, fixés au binard même, ont, à leurs extrémités saillantes hors des poulies, des trous pour y passer des bras de leviers avec lesquels on fait tourner les rouleaux et avancer le binard. Ils doivent être convenablement fretés avec des cercles de fer. Lorsque les ouvriers qui doivent transporter une pierre de 600 ou 700 kilogrammes sont de bonne volonté, robustes et intelligens, il n'y a pas de moyen plus expéditif que de passer des cordes sous la pierre, et lier ces cordes à des pièces de bois dont les extrémités sont supportées par les épaules des ouvriers. En Italie et surtout à Rome, on fait usage de cette méthode.

246. M. *Gauthey* (*Traité de la construction des ponts*) donne les résultats suivans pour évaluer le transport des pierres de taille. En supposant à la pierre une pesanteur spécifique moyenne de 140 à 150 livres, un homme attelé à un binard peut traîner environ 0, 055 mètre cube; et en supposant qu'il faille six hommes pour charger et décharger les blocs de pierre, ces six hommes suffiront pour le service du binard, lorsque le volume de pierres ne surpassera point 0, 38 mètre cube. Si les pierres sont plus pesantes, il faut atteler un plus grand nombre de manœuvres, qui perdront leur temps pendant le chargement, le déchargement et le retour; mais comme il en coûte plus pour faire mouvoir un charriot quand il est tiré par des hommes que quand il l'est par des chevaux, il y a un point où, relativement à la charge, il devient préférable d'employer des chevaux. Le volume de pierre que peut tirer un cheval, étant supposé de 0, 4 mètre cube, il est facile de déterminer la grosseur des pierres pour lesquelles il convient d'atteler un ou plusieurs chevaux. On trouve, en adoptant les prix qui se payent actuellement à Paris, qu'en outre les six bardeurs, qui sont regardés comme nécessaires pour le service du binard, il

est préférable, au lieu d'en augmenter le nombre, d'atteler un cheval quand le volume des blocs de pierre est compris entre o, 60 et o, 78 mètre cube; deux chevaux, quand il est compris entre o, 89 et 1, 18 mètre cube; trois chevaux quand il est compris entre 1, 16 et 1, 68 mètre cube; quatre chevaux quand il est compris entre 1, 66 et 1, 98 mètre cube; et ainsi de suite.

247. Les voitures dont on se sert communément pour transporter les blocs de pierres sont des espèces de *haquets*, qui ne diffèrent des charrettes ordinaires dont nous avons donné la description détaillée dans le second chapitre de ce livre, que parce qu'ils n'ont pas de ridelles, et ont un moulinet sur le devant et une bascule disposée comme celle des tombereaux. Lorsqu'on charge une de ces voitures, elle forme une espèce de plan incliné, que l'on prolonge encore à volonté avec des pièces de bois que l'on appuie sur l'extrémité du châssis de la voiture: au sommet de ce plan incliné se trouve le moulinet, auquel est attaché un câble qui sert pour tirer et faire monter les blocs que l'on charge. Quand un bloc est déjà placé sur la voiture, et qu'on en veut placer quelques autres sur la même, on dispose sur ce premier bloc un petit châssis dans lequel sont enchassés des rouleaux et qui sert pour soutenir la corde et l'empêcher de frotter sur la pierre.

248. Il peut arriver que la forme de la pierre ne permette pas de la charger sur de semblables voitures: alors, ou il faut se servir de traîneaux, ou de voitures dont les dimensions se combinent avec celles des blocs. Les bahuts qui couvrent les parapets du beau pont de Neuilly ont depuis 6 jusqu'à 8 mètres de longueur. Les douze dez ou couronnemens des pilastres du même pont ont chacun 3 mètres de largeur, 3 mètres de longueur sur o$^{mèt.}$, 9 de hauteur. Il s'agissait de conduire ces pierres depuis la carrière de Saillancourt jusqu'à

Neuilly dans l'espace de 9 lieues : M. *Perronet* célèbre architecte de ce pont, adopta pour le transport des bahuts, le chariot dont les figures 10, 11 (planche IV) démontrent l'élévation et le plan; et pour le transport du couronnement des pilastres le binard représenté par la figure 5. Les figures 6, 7, 8, 9, représentent une autre espèce de binard dont M. *Perronet* se servit au pont de Mantes.

249. Lorsqu'on se sert des traîneaux pour transporter des blocs pesans, les rouleaux, si utiles sous les fardeaux médiocres, deviennent alors désavantageux. Ils ne peuvent résister au poids, ils s'écrasent, et alors ils augmentent le frottement au lieu de le diminuer; et quand même ils seraient assez forts pour résister à la charge, il est presque impossible qu'ils gardent toujours leur parallélisme, parce que, n'éprouvant pas toujours la plus forte pression au milieu de leur longueur, ils changent de direction pendant la marche du traîneau. Si on cherche à contenir ces rouleaux dans des positions parallèles en les engageant dans des traverses creusées exprès, alors, où ils n'avancent pas, à cause de l'augmentation du frottement, où bien ils rompent les traverses. Ces considérations ont engagé M. *Carburi*, lorsqu'il entreprit le transport du fameux rocher de Pétersbourg, d'employer, au lieu de rouleaux, des corps sphériques, fixés entre deux espèces de rainures ou coulisses de métal. Ces boules avaient moins de poids que n'auraient eu des rouleaux métalliques, leur mouvement était plus prompt, leur frottement moins considérable, et on pouvait les former avec facilité. M. *Carburi* fit des essais pour se préparer à transporter le rocher, il avait fait forger aussi exactement qu'il était possible, et tourner des boules de fer; lorsqu'il les plaça entre les coulisses du traîneau, qui supportait le rocher, elles y furent presque toutes écrasées sous le poids; la moindre paille, le moinde défaut

de soudure, la plus petite inégalité de la contexture des parties du métal suffisait pour les faire éclater. Il en fit en fer fondu comme les boulets de canon, elles résistèrent bien moins encore : la plupart furent écrasées en plusieurs morceaux; le cuivre seul, mêlé avec un peu d'étain et de calamine, résista parfaitement, soit pour les gouttières ou coulisses, soit pour les boules. Il arrivait quelquefois qu'une boule beaucoup plus pressée que les autres faisait plier la gouttière; mais bientôt, continuant son chemin, elle la redressait d'elle-même en foulant les autres parties. M. *Carburi*, pour reconnaître si l'idée désavantageuse qu'il avait conçue des rouleaux était bien fondée, en fit exécuter quelques-uns, et les soumit à l'expérience. Il en fit forger de fer, de 64 décim. de long, et de 27 décim. de diamètre; et quoiqu'il eût tellement augmenté la force motrice pour mouvoir le rocher avec ses rouleaux, qu'elle était quatre fois plus grande, il lui fut impossible de faire remuer le rocher: les câbles et les moufles se cassèrent.

249 *bis* Il est bon d'observer que la méthode de M. *Carburi* de placer sous les traîneaux des boules entre des espèces de gouttières de métal, est sujette à un inconvénient très-grave, c'est que toutes les fois que le chemin abandonne la ligne directe pour tourner à droite et à gauche, il faut alors changer les traîneaux sur lesquels sont posés les fardeaux que l'on transporte, pour en substituer d'autres circulaires : et quand les fardeaux ont été retournés par le moyen de ces traîneaux circulaires, suivant la direction du chemin, il faut encore changer ces traîneaux pour remettre les premiers avant de continuer la marche en ligne directe. Quand on arrive ensuite à une nouvelle courbure, il faut répéter cette manœuvre qui est fort longue, et surtout fort embarrassante; car il ne s'agit de rien moins que de soulever entièrement le fardeau à chaque changement, et de le tenir ainsi suspendu jusqu'à ce qu'on

ait ôté les traîneaux qui étaient dessous et replacé les autres. Le moyen le plus simple, le plus sûr et le plus économique d'effectuer le transport des grands fardeaux, c'est de les placer sur de simples traîneaux solidement construits, et doublés en fer dans leur partie inférieure qui doit frotter. Les clous qui assujettiront cette doublure doivent être rivés dans les bandes mêmes de fer, et n'être en aucune manière saillans; sa surface sera sans aspérités, et sera unie et lisse autant que faire se pourra. Sous ce traîneau seront placées de fortes traverses de bois de chêne, et mieux encore d'orme; leur surface supérieure sera un peu convexe, et sera recouverte d'un enduit de suif bien pur, que l'on aura soin de renouveler fréquemment chemin faisant. A mesure que le traîneau avance, il doit y avoir des ouvriers dont le seul emploi sera de transporter les traverses qui seront libres derrière le traîneau, et de les disposer régulièrement en avant. J'ai dit qu'il fallait que la surface frottante du traîneau fût revêtue de fer, parce que les expériences de M. *Coulomb* prouvent que lorsqu'on fait glisser des surfaces métalliques sur des bois enduits de matières graisseuses, la force de traction qu'il faut pour vaincre le frottement, est moindre que pour toutes les autres espèces de surfaces frottantes (144). Le rapport de la pression au frottement du fer sur le bois de chêne est de 35 à 1; tandis que celui du bois de chêne sur chêne est de 27 à 1. Le frottement serait encore moindre, si, au lieu de placer sous le traîneau des lames de fer, on employait pour cet usage des lames de cuivre jaune : le rapport de la pression au frottement serait, dans ce cas, de 47 à 1 : ainsi avec une force équivalente à cent livres, on traînerait un fardeau de 4700 livres. Il ne faut pas cependant, en pratique, compter sur un effet si avantageux; car il y a toujours quelques circonstances qui tendent à l'atténuer : elles dépendent

des défauts d'exécution, ou de solidité, ou de niveau dans les parties du chemin à parcourir.

250. Les transports par eau étant incomparablement plus avantageux que ceux par terre, on ne doit pas négliger d'en faire usage toutes les fois que les localités le permettent. Les grands bateaux de la Seine, qui transportent des carrières jusqu'à Paris les pierres de taille, chargent jusqu'à 4600 pieds cubes, lorsqu'il y a assez d'eau pour qu'ils puissent enfoncer ou gayer de 5 pieds 6 pouces. Le chargement et le déchargement des gros blocs présentent souvent des difficultés, et souvent, lorsqu'on néglige les précautions convenables, il arrive des accidens fâcheux. En 1164, lorsqu'on voulut debarquer à Venise les trois grandes colonnes qu'on avait transportées, on ne sait précisément si c'est de la Grèce ou de Constantinople, une de ces colonnes tomba au fond du canal, où l'on n'a pu depuis la retrouver malgré diverses recherches : elle se trouve probablement couverte de plusieurs pieds de vase, et l'on ignore l'endroit où l'on en avait tenté le débarquement. Au port de Carrare, pour charger les gros blocs de marbre qui doivent être transportés par mer dans les pays étrangers, on tire à terre les bâtimens sur lesquels on veut les placer, et, après les avoir épontillés et affermis, on construit un plan incliné de charpente jusqu'au haut de ces bâtimens; et par le moyen des cabestans qui y sont, on fait monter le bloc et on le place dans la situation où il doit se trouver dans ces mêmes bâtimens, qu'on lance ensuite à la mer lorsque les fardeaux y sont solidement disposés. Les bateaux de rivières qui servent à transporter de gros blocs, n'ont point la poupe angulaire ni courbe, mais formée par une cloison droite et plane, que l'on peut ôter lorsqu'on veut charger les blocs, et qu'on replace ensuite. Pour effectuer le chargement et le déchargement, il faut que cette partie du bateau repose solidement sur

le rivage; et, dans le cas que le rivage n'offre pas un appui solide, on le fortifie en plantant des pilotis.

251. On peut voir dans *Bélidor* (*Architecture hydraulique*, deuxième partie, liv. VIII, chap. X) la description des pontons qu'on employait de son temps pour aller chercher sur le rivage les blocs qui devaient servir pour former des enrochemens. Ces pontons avaient une espèce de pont-levis dont l'extrémité s'appuyait sur le rivage, et les blocs en parcouraient la longueur, étant tirés par le treuil d'une roue à cheville. On trouve, dans les œuvres de M. *de Cessart*, les dessins d'une machine qu'il avait composée pour le versement des blocs de la digue de Cherbourg. Elle consiste dans une chèvre mobile portée par un ponton, et qui, s'inclinant en avant, va soulever le bloc chargé dans un bâtiment qui se place contre le ponton. Cette chèvre reprend ensuite sa position verticale, pour déposer le bloc qu'elle a élevé sur la partie supérieure d'un plan incliné, le long duquel le bloc glisse dans l'eau. M. *Brémontier* a employé un ponton disposé d'une manière ingénieuse, pour descendre et arranger sous l'eau des blocs factices, servant à la construction d'une digue à Saint-Jean-de-Luz (on voit le dessin de ce ponton dans le *Recueil de charpenterie*, par M. *Krafft*). La difficulté du chargement et du déchargement des grandes pierres, quand on veut les porter sur des bâtimens, a engagé M. *Ferregeau* à se servir d'un autre moyen de transport pour les blocs employés aux enrochemens du fort du Boyard. Il fixa le bloc à deux tonnes vides accouplées et assujetties l'une à l'autre par le moyen d'un appareil de charpente et par des cordages qui les entouraient. Le bloc était porté par une chaîne qui s'attachait à un cordage passant sur les tonnes, et uniquement retenu par un petit levier de fer. Ce levier était maintenu dans sa position verticale par un déclic qu'on lâchait au moment de faire

échouer le bloc et opérer le déchargement. Quant au charge ment, on conçoit que, l'appareil étant disposé sur le bord de la mer, il se mettait à flot de lui-même quand la marée venait à monter. On a transporté de cette manière un bloc de 15 mètres cubes pesant 37,600 kilogrammes. L'appareil pouvait porter un bloc de plus de 18 mètres cubes.

CHAPITRE VI.

Transport des obélisques, des temples monolithes égyptiens, de la voûte monolithe du tombeau de Théodoric à Ravenne, et du rocher de Pétersbourg.

252. LA nature avait tout disposé en Égypte pour favoriser l'érection de ces édifices énormes faits pour vaincre les insultes de la nature et des hommes: des carrières du plus beau granit étaient disposées à de petites distances des bords du Nil, dont les accroissemens périodiques et les débordemens merveilleux présentaient des secours puissans pour déplacer, transporter, et replacer les blocs colossaux qui devaient les composer ou former les monumens monolithes dont l'Égypte était parsemée. Parmi ces monumens monolithes, les plus connus et les plus nombreux sont les obélisques. Les plus grands obélisques dont on ait connaissance sont les deux dont parle Diodore de Sicile, et qui furent érigés à Thèbes par ordre de Sésostris: ils avaient chacun 120 coudées de hauteur, c'est-à-dire 49 mètres; chacun devait peser à peu près 2,150,000 livres. Le plus grand des obélisques qui existent en Europe, est celui qui est érigé sur la place de Saint-Jean-de-Latran, à Rome. Sa hauteur est de 33 mètres; la largeur de sa base de 1 mètre 6 décimètres, et son poids de 938,223 livres. Les obélisques qu'on voit maintenant à Rome sont au nombre de treize. Il est certain qu'il en reste

encore à découvrir, que plusieurs ont été détruits pour faire d'autres ouvrages, et qu'il s'en trouve encore à Rome des fragmens qu'on débite pour faire des pavés, des revêtemens et des restaurations. Celui qui est placé sur la place de Saint-Pierre a 26 mètres de hauteur, et pese 694,000 livres; celui d'Auguste, sur la place du Peuple, a 24 mètres de hauteur. Il existe à Constantinople un obélisque, érigé sur la place de l'Hippodrome, qui a 19 mètres de hauteur. Le seul obélisque égyptien que l'on connaisse en France, est celui d'Arles, qui a 17 mètres de hauteur, et dont le poids est d'environ 200,000 livres.

Hérodote décrit deux monumens monolithes égyptiens encore plus merveilleux que les obélisques : « Amasis, dit-il, fit apporter de la ville d'Éléphantine une espèce d'édifice d'une seule pierre; il employa trois années à ce transport, qui fut exécuté par deux mille hommes, tous bateliers. La longueur extérieure du morceau est de 21 coudées (*a*); la largeur est de 14; et la hauteur de 8: telles sont les dimensions extérieures de cet ouvrage d'une seule pierre; à l'égard de l'intérieur, la longueur est de 18 coudées et demie, la largeur est de 12, et la hauteur de 5. Ce morceau est placé à Says, auprès de l'entrée du temple. La raison qui empêcha l'architecte de faire entrer ce morceau dans le temple, c'est, dit-on, que dans le temps qu'on travaillait pour y parvenir, l'architecte, impatienté de la longueur de l'entreprise, soupira, et parut dépité contre son ouvrage. Ce fut un mauvais présage pour Amasis; il ne voulut pas qu'on fît avancer plus loin cet édifice. Quelques-uns disent aussi qu'un des ouvriers fut écrasé sous le poids du morceau, et que, par cette raison, on ne le fit pas entrer dans le temple. » *Hérodote* dit dans un autre endroit : « Il y a dans la

---

(*a*) La coudée = 14 pouces $\frac{17}{20}$.

ville de Butos un temple d'Apollon et de Diane, outre celui de Latone, dans lequel il se rend des oracles ; ce dernier temple est grand, et il a des portiques de dix orgies de haut (40 coudées) : de tout ce que je vis, voici ce qui me causa la plus grande surprise. Il y a dans l'enceinte consacrée à Latone un temple fait d'une seule pierre en hauteur et en largeur; les côtés en sont égaux; chacune de ces dimensions est de 40 coudées. La couverture de la partie supérieure est une autre pierre ayant un entablement de 4 coudées. Ce temple est de tout ce que j'ai pu voir, la chose la plus surprenante. » La chapelle de Says devait peser plus de 500 milliers. Le bloc primitif qui servit à former l'édifice de Butos devait peser, avant d'être creusé 22 millions et, après avoir été creusé, 9 millions, et le poids de la pierre qui couvrait cet édifice devait être de 1800 milliers. Pour effectuer le transport de ces masses surprenantes, il paraît que les Égyptiens, après avoir taillé dans les carrières et détaché ces masses encore brutes et arrondies, les faisaient rouler ou culbuter à force d'hommes. On trouve encore en plusieurs endroits, à quelque distance des carrières, de très-gros blocs dont le transport paraît avoir été interrompu. Ensuite ils les travaillaient au niveau de l'inondation ordinaire; ils creusaient un canal jusqu'au-dessous de la pierre même, qui devait être solidement soutenue à ses extrémités; ils introduisaient dessous de forts bateaux, qui, étant élevés par le Nil dans sa crue, soulevaient le bloc même; ou bien on déchargeait, pour les élever, des matériaux qu'on y avait placés avant de les introduire sous la pierre. *Pline* (livre XXXVI) décrit cette manœuvre, en parlant de l'obélisque d'Alexandrie, érigé par le roi Ptolémée-Philadelphe, et que l'ancien roi Nectabis avait fait tailler: il avait 80 coudées de hauteur. Il dit, d'après le témoignage de Callisthènes, que : « l'architecte qui en entreprit le transport s'appelait *Phénix*, qu'il en

vint à bout au moyen d'un canal qu'il fit creuser depuis le Nil jusqu'au lieu où l'obélisque gissait étendu à terre. Ce canal fut conduit jusque sous l'obélisque, qui, par ce moyen, ne porta plus à terre que sur ses deux extrémités. Alors on fit passer sous cet obélisque, deux vaisseaux plats de transport, l'un et l'autre fort larges, et dont les bords étaient à fleur d'eau au moyen des briques dont on les avait chargés, et qui formaient le double du poids de l'obélisque. Aussitôt que celui-ci porta sur les deux vaisseaux, on les allégea de toutes les briques: par ce moyen les deux vaisseaux se trouvèrent chargés du poids de l'obélisque. »
Quant au débarquement, on attendait vraisemblablement le temps de l'inondation, et le moment où l'eau se trouvait à sa plus grande hauteur, pour conduire le bloc à l'endroit même où l devait être érigé; et, les eaux étant retirées, on aura peut-être sacrifié le bateau et dépecé le bois qui le composait, pour éviter les difficultés que le déchargement présente toujours.

253 et 254. On lit dans *Ammien Marcelin* (liv. XVII, ch. IV) de quelle manière on transporta l'obélisque de Ramesses, d'Héliopolis jusqu'à Rome, du temps de l'empereur Constantin. On fit un canal jusqu'au Nil; on conduisit l'obélisque sur le Nil, jusqu'à Alexandrie, où l'on construisit un vaisseau d'une grandeur inouïe, que 300 rames devaient faire mouvoir; mais tout étant ainsi préparé, la mort du prince suspendit l'exécution de cette entreprise. Long-temps après on en chargea le vaisseau; et, traversant les mers, et ensuite les eaux du Tibre, il arriva au bourg d'Alexandrie, éloigné de Rome de trois milles; ici, il fut placé sur un traîneau, et lentement conduit par la porte d'Istrie et la Piscine publique jusqu'au grand Cirque.

255. L'année 1585, tous les obélisques de Rome étaient renversés à terre, à l'exception de celui du Vatican, qui était encore érigé sur son piédestal, mais qui se trouvait placé dans une mauvaise

situation derrière la sacristie de Saint-Pierre; le pape Sixte V, qui régnait alors, eut l'idée de décorer avec ces monumens les places principales et les lieux les plus remarquables, et il ordonna qu'on commencerait par transplanter celui du Vatican, pour le placer au milieu de la place qui est devant la façade de la magnifique église de Saint-Pierre. A cet effet, il fit faire un appel aux mathématiciens et aux ingénieurs les plus habiles, pour qu'ils indiquassent les moyens qui leur sembleraient les plus convenables pour effectuer cette opération. Le projet présenté par Dominique Fontana ayant obtenu la préférence, il fut chargé de son exécution. Il déplaça l'obélisque; le coucha sur un traîneau, le transporta, et l'érigea de nouveau dans l'endroit déterminé : de toutes ces opérations nous ne décrirons ici que le transport, réservant les détails des autres pour le livre suivant.

256. Le poids de cet obélisque était, comme nous l'avons déjà dit, de 694,000 liv. Pour le préserver des dégradations qu'il aurait pu éprouver, on l'avait enveloppé avec un double revêtement de nattes, sur lesquelles étaient posés des madriers de 54 millimètres d'épaisseur, et on avait encore placé en longueur, au-dessus des madriers, sur chaque face, trois barres de fer de même longueur que l'obélisque; les barres de deux faces opposées se réunissaient sous la base; chacune de ces barres, qui avait 11 décim. de largeur et 54 millim. de grosseur, était composée en longueur de plusieurs portions réunies solidement par des boulons. Neuf fortes frettes de fer, de la même largeur et de la même grosseur que les barres, les environnaient, et étaient disposées à distances égales. Un tel revêtement en nattes, bois et fer, augmentait le poids de l'obélisque de 28,000 livres. *Scamozzi*, célèbre architecte vénitien, qui fut témoin oculaire de l'opération dont nous parlons, désapprouve l'espèce de revêtement que

prolonger la chaussée tout le long du chemin à parcourir, qu'il suffisait d'établir une place autour du piédestal et au niveau de sa partie supérieure, et de faire une montée très-douce pour y arriver ; le surplus du chemin aurait dû, dit-il, être aplani convenablement, et il suffisait d'y établir un grillage de pièces en bois. A l'égard des rouleaux, il croit qu'ils auraient dû être plus gros parfaitement cylindriques, et enduits de savon. Quant à moi, je pense que, dans de semblables opérations, il faut renoncer à l'usage des rouleaux, et qu'on doit suivre le procédé que j'ai indiqué (249).

257. La voûte sphérique monolithe qui couvre le tombeau du roi Théodoric, que sa fille Amalasonte lui érigea dans la ville de Ravenne, prouve que dans ce siècle on n'ignorait pas les procédés pour transporter et élever d'énormes masses : celle dont nous parlons est une des plus surprenantes qu'on puisse admirer. M. *Soufflot* l'a mesurée et dessinée sur les lieux, et a envoyé à M. le comte *de Caylus* la description suivante. Le dôme de cet édifice a été taillé dans un bloc de pierre d'Istrie bien plus considérable que la chapelle de Says. Son plan est octogone à l'exterieur, circulaire dans son intérieur (*a*) ; il a 34 pieds de diamètre hors œuvre, et 29 dans œuvre, il forme une calotte de 6 pieds 1 pouce d'exhaussement intérieurement, et de 7 pieds et demi extérieurement ; on lui a conservé 3 pieds d'épaisseur, et on a réservé sur le sommet, un dé ou socle, de 9 pouces de hauteur : ces 3 pieds 9 pouces, joints aux 6 pieds 1 pouce du renfoncement de la calotte, donnent 9 pieds 10 pouces pour l'épaisseur totale du bloc, qui, multipliés par le produit des 34 pieds en carré qu'il devait avoir au moins en le tirant de la carrière, produisent un cube de 11,367 pieds. La pierre d'Istrie

(*a*) On doit se rappeler que le pied vaut $0^{mèt.}$, 324839.

et 21. Le projet de M. *Carburi* fut adopté, et, l'an 1769, il fut chargé de transférer ce rocher à Pétersbourg. Le transport en fut effectué par les moyens que nous allons indiquer, et coûta 70,000 roubles (315,000 francs).

259. Le rocher ayant été trouvé dans un lieu désert, on fit bâtir des casernes pour y loger environ 400 ouvriers. On fit nettoyer ce terrain de tout ce qui s'y trouva d'arbres et de broussailles jusqu'à la Néwa, sur une largeur de vingt toises. Au mois de décembre, les gelées étant déjà un peu fortes, on travailla à dégager le rocher de toute la terre qui l'environnait. Il était enfoncé de 15 pieds. On fit tout autour, à cette profondeur, un vide de 14 toises de large, pour y placer les machines nécessaires pour élever et renverser le rocher, sa forme étant telle, que ce qui était en largeur devait être en hauteur. On fit un glacis depuis la surface inférieure du rocher, de six toises de large sur cent de longueur, afin de le retirer de son enfoncement. Dès qu'en fouillant autour du rocher, on l'eut dégagé de la terre qui l'environnait, on enfonça des pilotis dans le lieu où devait être placé un radier, sur lequel on a ensuite renversé le rocher, et où devaient être fixés les points d'appui des leviers, dont on fit usage pour ce renversement. Le radier était un assemblage de quatre rangs de poutres transversales. Le tout ayant été ainsi préparé, on plaça du côté où il devait être élevé douze leviers dont nous avons donné la description (55), et pour faciliter l'action des leviers par une nouvelle force, on établit très-solidement au côté opposé des leviers, quatre cabestans; et ayant fait sceller avec du plomb, dans le rocher, des anneaux de fer d'un pouce et demi de grosseur, on attacha à ces anneaux des moufles à trois poulies, et on fit passer des cordages de deux pouces de diamètre, qui, après avoir fait différentes révolutions sur les poulies, alloient se terminer aux autres moufles qui

étaient attachés près des cabestans. Comme il était nécessaire que la plus grande uniformité régnât dans le mouvement de toutes ces manœuvres et qu'il n'y eût aucune confusion, on avait placé sur le rocher deux tambours, qui, par des signaux convenus, donnaient à toutes les opérations l'ordre et la précision nécessaires. Chaque opération des leviers élevait le rocher au moins de neuf pouces, et d'un pied lorsque les points d'appui étaient exactement fixés et ne fléchissaient pas : alors on fixait tous les cabestans, et les mêmes ouvriers mettaient sous le rocher des poutres et des coins, forcés à coups de masse pour le soutenir tandis qu'on ôtait les leviers, qu'on se préparait à recommencer les mêmes opérations, et qu'on élevait les points d'appui, ainsi que la charpente des pyramides. Quand le rocher fut élevé au point d'être à peu près en équilibre, on fit établir six nouveaux cabestans. Ils étaient diamétralement opposés aux quatre dont nous avons parlé, et dont l'action avait servi à élever le rocher. On le fit soutenir, outre cela, du côté du radier, par des vis très-fortes. Toutes ces précautions servirent pour empêcher qu'une chute trop prompte ne brisât les pièces de bois sur lesquelles il devait s'asseoir, et n'exposât le rocher même à quelque fracture. Pour prévenir encore plus sûrement cet accident, on avait fait mettre sur le radier environ six pieds d'épaisseur de mousse et de foin, mêlées ensemble. On fit descendre lentement le rocher, et on le plaça sur son lit.

260. Les figures 3, 4 (planche VI) représentent le traîneau où le rocher fut placé. Sa partie inférieure était composée de poutres isolées, qui avaient chacune 33 pieds de long, 14 pouces sur 12 d'équarissage; elles étaient creusées à leur surface en forme de gouttière, pour recevoir une coulisse de métal de 2 pouces d'épaisseur; elles étaient faites de six pièces de cuivre, et elles étaient amincies sur les côtés, parce que le fond

seul devait résister à la violence de la pression; les côtés avaient une forme convexe pour diminuer les frottemens, que les boules qu'on devait y placer, éprouveraient en roulant. On détermina le diamètre des boules, de manière qu'elles portassent toujours au fond de la gouttière, et qu'elles ne touchassent les côtés qu'accidentellement. La partie supérieure du traîneau était de deux poutres semblables à celles que je viens de décrire; elles avaient chacune 42 pieds de long, et 18 pouces sur 16 d'équarissage; elles étaient assemblées par quatre traverses de bois de 14 pieds de long, et 13 pouces d'équarissage. Ces traverses avaient moins d'épaisseur que les poutres, afin qu'il y eût un espace vide entre elles et le rocher; car il les aurait rompues s'il avait porté dessus : aux deux extrémités de ces traverses, on mit deux boulons taillés à vis à leurs bouts, avec une plate-bande qui entrait dans les traverses et se fixait par deux goupilles. Entre ces quatre traverses, il y en avait trois autres de fer de même longueur et de deux pouces de diamètre; elles avaient, à leurs bouts, des boulons d'un pouce de diamètre, comme ceux des traverses de bois. Comme la pression devait être grande, on a encore ajouté, entre chaque traverse, un boulon; tous ces boulons traversaient des crampons d'un pouce d'épaisseur, et de quatre pouces de large; leurs griffes retenaient les coulisses de cuivre dans les entailles faites dans les poutres. Plusieurs crochets étaient attachés à ce traîneau, dans lesquels on passait les câbles pour le tirer. Il y avait aussi des crochets à la partie inférieure qui servaient à unir fortement les poutres l'une au bout de l'autre : comme les poutres et les coulisses de dessous étaient mobiles, on en avait fait six paires : de façon que, dès qu'une serait libre derrière le rocher, on pût la conduire devant et la placer dans la direction des autres. Ces poutres et leurs coulisses étaient moins épaisses que celles du châssis supérieur, sur lequel posait immédiate-

trouvait près du chemin dans quelques endroits, et on le mêla par couches alternatives avec de petits sapins ébranchés. Le chemin, ainsi disposé, gelait à la profondeur d'environ 4 pieds; on avait soin de déblayer la neige qui tombait, sans cela la gelée n'aurait pas pénétré fort avant. La terre qu'on ôta pour dégager le rocher fût employée à faire un rempart tout autour du creux où il était enfoncé, pour que les eaux du marais et de la pluie ne pussent y entrer. Un chapelet suffisait pour vider celles qui filtraient à travers les terres.

263. On construisit un radier au bord de l'eau, sur lequel on put conduire le rocher assez avant dans la rivière pour trouver la profondeur d'eau que demandait la barque sur laquelle il devait être conduit à Pétersbourg. Ce radier avait huit toises de large et quatre cents de long. On conçoit avec quelle solidité ce radier devait être établi pour soutenir la masse du rocher, et résister aux glaçons énormes que la rivière entraîne. On enfonça des pilotis dans toute la longueur, et leurs têtes étaient taillées à fleur d'eau. On remplit entièrement le vide qui restait entre eux, par des sapins ébranchés, jetés transversalement, et arrêtés fortement au-dessus par des liens de fer. Étant parvenu à faire une sorte de *môle* plein jusqu'à la surface de l'eau, on l'éleva encore de trois pieds par des poutres retenues aussi par des liens de fer. Enfin on garnit les extrémités de ce môle par une quantité de grosses pierres qu'on trouva au bord de l'eau. Pour la garantir des glaçons, on la munit d'une forte palissade, formée par des pilotis enfoncés tout autour à cinq pieds l'un de l'autre, et à six du môle; des arcs-boutans placés entre lui et chaque pilotis les soutenaient contre l'impétuosité des glaçons.

264. La première opération pour transporter le rocher fut de l'élever un peu pour substituer au radier sur lequel il posait, le châssis où il devait être posé pour qu'on pût le traîner. Cette

opération s'effectua au moyen de douze fortes vis, que nous avons décrites (106). L'ayant donc suspendu sur ces vis, on ôta le radier sur lequel il était resté tout l'été, et on plaça les coulisses libres du traîneau sur lesquelles on glissa le châssis à coulisses; comme ce châssis n'avait que 17 pieds de large, et que le rocher en avait 21, il excédait le châssis de deux pieds de chaque côté; et c'est sous cette saillie qu'étaient placées les vis. La figure du rocher n'était pas assez régulière pour qu'il posât également sur toutes les parties du traîneau; au contraire, l'arrière pesait plus que l'avant, étant bien plus haut. Cet inconvénient aurait pu tout déranger dans la marche, et même causer le renversement du rocher dans une montée un peu considérable. Pour éviter ce danger et étendre la base sur laquelle la partie de l'arrière du rocher reposait, on mit deux arcs-boutans de bois dur appuyés d'un côté dans des entailles faites au rocher, et de l'autre sur le châssis.

265. On était ainsi parvenu à mettre le rocher au point d'avancer, et de faire chemin sur les boulets. Quatre cabestans furent employés à le tirer d'abord, parce qu'il fallait le transporter sur le chemin horizontal par le glacis dont on a parlé. Dans les terrains horizontaux, deux cabestans, chacun mus par trente-deux hommes, suffisaient pour la marche du rocher. Dès que le premier mouvement lui était imprimé, il avançait avec la plus grande facilité, et les hommes couraient en tournant les cabestans, et sans faire presque d'effort. On employait à chaque cabestan deux moufles à trois poulies. Les câbles avaient un pouce et demi de diamètre. Lorsqu'il fallait monter des pentes de terrain assez considérables, il fallut quatre cabestans, et même quelquefois six, en employant toujours le même nombre d'hommes à chaque cabestan. Des tambours placés sur le rocher, donnaient le signal, et tous les mou-

vemens se faisaient avec beaucoup d'ordre. La fatigue également partagée, n'étant considérable pour aucun individu, on parcourait de la sorte depuis quatre-vingt jusqu'à deux cents toises par jour, lorsqu'on ne rencontrait pas d'obstacles, comme des pentes, ou des chemins à refaire, et ces jours n'ont que quatre ou cinq heures en hiver. Quand il fallait descendre, on mettait des cabestans derrière le rocher; on filait les câbles, et le rocher descendait par son propre poids. C'était un spectacle curieux que la marche de ce rocher. Quarante tailleurs de pierre travaillaient continuellement dessus à lui donner la forme désirée : une forge y était aussi placée. Après que le rocher eut parcouru environ 60 pieds, il s'enfonça de 18 pouces dans le chemin du glacis. Ayant fait alors enfoncer des pilotis pour donner des points d'appui aux vis, on souleva le rocher et on dégagea les coulisses et les châssis, pour leur substituer le châssis circulaire. C'est ainsi qu'on s'y prit dans toutes les occasions semblables. On employa six semaines à lui faire parcourir l'espace jusqu'aux rives de la Néwa, qui est d'une lieue et demie.

266. L'amirauté, s'étant chargée de transporter le rocher dans l'espace qu'on devait lui faire parcourir sur la Néwa, fit construire une barque de 180 pieds de longueur et 66 de large, sur 17 de hauteur. On pourrait peut-être trouver ces dimensions exorbitantes pour un fardeau de trois millions, vu qu'elle en avait porté presque le double; mais il faut remarquer que, dans plusieurs endroits où elle devait passer, la Néwa n'a qu'environ huit pieds d'eau. On devait donc disposer la barque de manière qu'elle ne tirât pas plus d'eau, afin qu'elle ne fût pas exposée à échouer. Quant à la hauteur qu'on lui avait donnée, voici ce qui la rendait nécessaire : il y avait onze pieds d'eau, depuis le bord du môle jusqu'au fond.

La barque chargée n'en tirait qu'environ huit, mais pour la charger il fallait nécessairement que le fond de la barque fût tellement appuyé, qu'un côté ne pût pas lever tandis que l'autre baisserait ; sans quoi, dès que le rocher aurait porté sur un côté de la barque, l'autre aurait été élevé, et la barque perdant son équilibre, le rocher aurait tombé entre elle et le môle. Il était donc nécessaire que la barque fût assise au fond de l'eau, pour qu'elle reçût le rocher sans être renversée. Les personnes chargées de l'embarquement du rocher laissèrent remplir la barque d'eau, et la forcèrent par là à reposer sur le fond de la rivière. Comme le môle s'enfonçait 11 pieds dans l'eau, qu'il s'élevait 3 pieds au-dessus de sa surface, et que la hauteur de la barque était de 17 pieds, quoique le radier n'en eût que 14, on ouvrit la barque du côté par où le rocher devait entrer, on le tira horizontalement, et on le fit avancer jusqu'au milieu du radier par deux cabestans placés dans un vaisseau : dès qu'il y fut, on rétablit le côté de la barque qu'on avait ouvert, et on calfeutra bien toute cette partie de la barque. Quand cela fut fait, on commença à vider l'eau qui était dans la barque ; mais on s'aperçut que toutes les parties de la barque ne s'élevaient pas également ; le centre trop chargé restait au fond, et la poupe et la proue s'élevaient, et faisaient prendre au fond une courbe. Pour remédier à cet inconvénient, on chargea d'abord de pierres la poupe et la proue de la barque, et on les força de s'asseoir de nouveau au fond de l'eau. Les madriers reprirent leur première situation ; les ouvertures qui s'étaient formées et par où l'eau pénétrait, se bouchèrent presque entièrement, et ayant épuisé toute l'eau de la barque, elle ne s'arqua plus ; mais le milieu s'éleva un peu comme tout le reste. Il ne s'agissait donc plus que de distribuer le fardeau plus également,

sur toute la surface de la barque. Pour y parvenir, on éleva le rocher de six pouces au-dessus du châssis qui le portait, en se servant des vis. On mit de chaque côté des arcs-boutans qui s'appuyaient par un de leurs bouts dans des entailles faites au rocher, et par l'autre tout contre des pièces de bois fixées au fond de la barque. Ces arcs-boutans diminuaient graduellement de longueur, de façon qu'il y en eût sur toute la surface de la barque, et on avait mis pour les entretenir, des pièces de bois liées avec des croix de fer. Tout étant ainsi préparé, on fit ôter les vis qui soutenaient le rocher au-dessus du châssis, et l'ayant laissé redescendre, son poids se distribua sur les arcs-boutans, et sur toute la surface de la barque. Après cette opération, on acheva de vider l'eau de la barque; on ôta les pierres de la poupe et de la proue, et la barque s'éleva en conservant parfaitement sa forme. La barque rétablie et mise à flot en six jours, les marins l'éloignèrent du môle; on mit de chaque côté un vaisseau auquel elle était fixée fortement avec des câbles. Non-seulement ces vaisseaux soulageaient la barque, mais encore ils la soutenaient contre les divers mouvemens qu'elle pouvait recevoir du vent, ou de l'agitation des flots. La dernière opération qui restait à faire pour le transport du rocher, et qui n'était pas moins difficile, était celle du débarquement; il y avait tout lieu de craindre que l'on n'échouât au port, si l'on ne prenait pas de sages mesures. On ne pouvait pas faire asseoir la barque sur le fond de la Néwa, à cause de sa trop grande profondeur dans cet endroit, et en tirant le rocher sans précaution, dès qu'il aurait été sur un bord de la barque, elle aurait tourné, et le rocher se serait précipité dans la rivière. On enfonça dans l'eau, tout près du quai, six rangs de pilotis dont les têtes furent recépées de niveau à 8 pieds au-dessous de la surface de l'eau, afin

que la barque, qui ne tirait que 8 pieds d'eau, pût y trouver un appui. Pour empêcher que lorsque l'on dégagerait le rocher de ses arcs-boutans, la barque ne s'arquât, on fit sur le quai un radier vers la poupe de la barque, et un autre vers sa proue; trois mâts furent assujettis avec la plus grande force par des liens de câbles de chaque côté, et ils s'avançaient sur la barque. Il fallait encore éviter que lorsque le rocher serait avancé sur le bord de la barque qui touchait le quai, le côté opposé de la barque ne s'élevât. Pour le contenir, on attacha six gros mâts au radier; ils passaient sur toute la largeur de la barque, et on les fixa fortement sur un vaisseau qu'on chargea. Pour éviter l'effet que pouvait occasioner l'action longue de tout le poids du rocher sur le milieu de la barque, on effectua l'opération du déchargement avec la plus grande célérité possible; à peine eut-on fait couper les derniers arcs-boutans, que tout étant préparé pour le tirer, on le vit passer, presque dans un clin d'œil, de la barque sur le môle. Ce mouvement fut d'autant plus rapide, que la barque, penchant vers le rivage, et ayant incliné le plan sur lequel il devait rouler, son poids donna une grande célérité à son mouvement. Toutes les parties de la barque souffrirent un tel effort dans ce moment, que six mâts se cassèrent, deux près du vaisseau, et quatre autres près des radiers. Les madriers qui composaient la barque, furent aussi pliés et dérangés au point qu'en moins de dix secondes il y eut plus de 3 pieds d'eau dans la barque; mais au moment qu'elle fut entièrement débarrassée, elle se redressa, et reprit son état naturel.

CHAPITRE VII.

Du transport des Statues.

267. Le transport des statues et des autres objets de sculpture, ne diffère des autres espèces de transports que par les soins et les précautions qu'il exige, pour prévenir les accidens que la fragilité pourrait occasioner. Les parties saillantes et faibles, celles qui ne sont réunies à la masse que par des liens très-minces et très-déliés, seraient exposées à se briser ou à se détacher pour peu qu'elles éprouvassent des cahots et des secousses, si elles n'étaient convenablement étançonnées et affermies par de solides appuis. Les sculpteurs forment dans le marbre même ces espèces d'étançons, et les laissent subsister jusqu'à ce que leurs statues soient fixées dans l'endroit où elles doivent demeurer; et quelquefois même, avant le transport, ils ne font qu'ébaucher les parties les moins solides, et ne les finissent qu'après la pose. Mais s'il faut transférer une ancienne statue d'un lieu à un autre, on doit auparavant affermir toutes les parties dont on pourrait craindre la fracture, par un grand nombre de petits appuis en pierre tendre, retenus sur la statue avec du plâtre; il faut bien se garder d'employer à cet usage le bois, où, les fibres étant sujettes à se gonfler par l'humidité, l'accroissement pourrait rompre les parties délicates auxquelles il serait appuyé. Ensuite on place la statue dans une caisse faite avec de forts madriers, et dont le fond, le couvercle et le châssis, sont non-seulement cloués, mais aussi garnis de bandes de fer dans les encoignures. Les parties les plus solides de la statue sont contrebuttées contre le châssis par des étançons en bois, dont on ne

doit se servir que pour cet usage. Les espaces vides, entre la statue et les parois de la caisse, et entre les parties des statues mêmes se remplissent de son qui s'insinue partout, et qui environne et comprime également toutes les surfaces, sans pouvoir en aucune manière les endommager.

268. Après que l'on aura soigneusement étançonné la statue, et que l'on aura mis en usage, à son égard, toutes les précautions que la prudence suggère pour éviter de fâcheux accidens durant le transport, on doit choisir une espèce de voiture la plus sûre et la moins exposée aux secousses. Lorsque la longueur du chemin à parcourir n'est pas considérable, on place ordinairement les statues sur les traîneaux où le chargement et déchargement est facile, et où le danger de verser, ainsi que les cahots, sont bien moindres qu'aux autres espèces de véhicules. On emploie souvent à cet usage l'espèce de fardier représentée figure 6 (planche VI). Ce fardier a quatre roues; on le distingue des chariots ordinaires, parce que les deux trains d'avant et d'arrière ne sont pas réunis comme dans ceux-ci au moyen de la flèche qu'on y supprime. Les trains portent dans leur partie supérieure de grandes échatignoles *aa*, sur lesquelles sont posés les brancards *b b*, qui sont attachés avec ces échatignoles par de forts boulons de fer à écrou; de manière qu'on peut, avec facilité et promptitude, ôter et remettre un des trains au moment du chargement et du déchargement. Deux moulinets *cc*, sont placés sur les poulins, et servent pour élever et soutenir le fardeau que l'on veut transporter. Je suppose maintenant qu'on ait à transporter une statue posée à terre. On détache d'abord l'arrière train, et l'on fait avancer le fardier, jusqu'à ce que la statue se trouve entre les moulinets placés sur les poulins; ensuite on remet l'arrière-train, on fait passer sous le socle de la statue des câbles ou des chaînes, qui vont, de cha-

que côté, s'envelopper sur les moulinets ; on soulève la statue, autant qu'il faut seulement pour qu'elle ne soit pas exposée à choquer contre les obstacles et les irrégularités dont le chemin à parcourir peut être parsemé. Quand la statue est parvenue à une telle hauteur, on lie les bras des leviers aux poulains, et le chargement est fini. Pour décharger la statue, lorsqu'elle est arrivée à la place où elle doit demeurer, on délie les bras de levier, on la laisse descendre petit à petit, on remonte l'arrière-train et on éloigne le fardier. On fait usage d'un fardier très-commode pour transporter les caisses d'orangers du jardin des Tuileries. Ce fardier est construit de manière qu'on peut charger et décharger sans avoir besoin de démonter un des trains ; du reste, il est semblable au précédent. L'essieu de l'arrière-train passe dans le moyeu des roues, lesquelles sont soutenues par deux branches de fer, traversées par un boulon qui fait l'office d'axe de rotation de ces roues. Ces branches de fer sont solidement boulonnées sur les poulains. Pour empêcher que les roues ne s'écartent et n'éprouvent des mouvemens vicieux, on les affermit avec une barre de fer qui a deux crochets au bout, laquelle tient la place de l'essieu ; mais elle peut être ôtée et remise dans un instant, toutes les fois que l'on charge et que l'on décharge, de manière qu'il est alors inutile de démonter l'arrière-train, comme on le fait à l'autre espèce de fardier. Au surplus, toutes les autres opérations sont semblables.

269. Ces fardiers, outre la facilité du chargement et du déchargement, présentent un autre avantage très-important, c'est que, le centre de gravité du système étant placé aussi bas qu'il est possible, ils participent des autres avantages des traîneaux, de n'être pas très-exposés, et moins que les autres voitures, aux versemens et aux secousses. Il est inutile d'avertir qu'après avoir suspendu les statues aux moulinets de ces fardiers, on

27

doit les assujettir avec des cordes de manière qu'elles ne puissent pas onduler.

270. Il y a des statues qui, par leur masse, leur grand volume et leur forme particulière, opposent de grandes difficultés au déplacement. Nous allons faire connaître les méthodes adoptées dans les deux mémorables opérations du transport, 1°. des fameux groupes de Coustou qui décorent l'entrée des Champs-Élysées ; 2°. de la statue équestre de Louis XV détruite par le vandalisme révolutionnaire. Nous commençons par les groupes de Coustou. M. *Grobert* fut chargé d'effectuer le transport de ces groupes depuis Marly jusqu'à l'endroit qu'ils occupent maintenant. Le bloc primitif brut qui servit pour former chacun d'eux pesait 90,000 livres. Nous avons indiqué (110) comment M. *Thomas* transporta ces blocs depuis le port Saint-Nicolas où ils furent débarqués, jusqu'aux ateliers du sculpteur. Lorsque le travail du sculpteur fut presque fini, on les embarqua de nouveau pour les conduire jusqu'au port de Marly; et enfin on se servit de rouleaux et de traîneaux pour les transporter de ce port, au jardin de Marly où ils étaient placés. On avait eu soin de soutenir les parties saillantes de ces groupes par des tenons formés dans le marbre même, et plusieurs détails n'étaient qu'ébauchés. Chacun de ces groupes a 3^{mèt.}, 35 de hauteur et son poids est évalué à environ trente milliers. Le centre de gravité en est très-élevé, et la base du groupe très-étroite relativement à sa hauteur. M. *Grobert*, très-habile officier général de l'artillerie, fit enlever ces groupes de leur ancien piédestal, pour les transporter jusque sur l'emplacement qu'ils occupent actuellement à la place Louis XV. Nous nous réservons de détailler dans le livre suivant les moyens qu'il employa pour les élever et placer sur leur nouveau piédestal. D'abord il fit devêtir chaque piédestal des tablettes de marbre qui le recouvraient;

élever autour de ce piédestal un plancher parallèle au sol, avec un talus en charpente qui conduisait de ce plancher sur le terrain en pente douce; fit percer dans le piédouche ou socle de la base du groupe une ouverture longitudinale dans laquelle on introduisit une forte pièce de bois, ébrécher la pierre qui était à côté; et, après avoir fait pratiquer une deuxième ouverture dans la même direction, il y fit insinuer une seconde pièce; trois autres furent introduites de la même manière, et, après qu'on eut détruit et déblayé ce qui restait encore du socle, le groupe s'est trouvé porté par sept pièces de bois parallèles qui ont été réunies ensemble, en plaçant entre elles des tampons, et traversant le tout avec des boulons à écrous. Ce châssis, pour plus de sûreté, était lié en outre par des moises; il contenait deux essieux en fer dont les extrémités en excédaient la largeur. Le groupe étant assuré de la sorte sur le châssis sans avoir souffert le moindre déplacement, on emmena sur l'échafaud un grand et solide fardier. La hauteur du plancher était telle que le tiers de la hauteur du groupe, y compris l'épaisseur du châssis qui le supportait, se trouvait au-dessus de la surface supérieure des brancards. Le fardier avait quatre roues égales de 3 mètres de diamètre et 32 centimèt. de largeur de jante qui était couverte d'un double bandage; les moyeux avaient 1 mètre de longueur et 64 centimèt. de diamètre; les brancards avaient 7 mètres de longueur, et la distance entre leurs faces supérieures latérales était de 2 mètres. La largeur de la voie ou de la distance d'un milieu à l'autre des jantes avait $3^{\text{mèt.}}, 5$, et égalait à peu près la plus grande hauteur du groupe; la partie de ce groupe qui surpassait en hauteur le centre des roues était de 3 mètres; le châssis qui le supportait avait 4 mètres de long, et $1^{\text{mèt.}}, 4$ de largeur. Ce fardier, qui ne devait parcourir que des chemins droits, ou dont les courbes dans les tournans sont très-amples, n'exigeait pas

que l'avant-train fût construit comme dans les voitures ordinaires à quatre roues, de manière à pouvoir tourner et introduire les roues sous les brancards. M. *Grobert* a reconnu qu'il était bien plus avantageux dans ce cas de donner au fardier des roues d'égal diamètre, qui par leur grandeur facilitaient non-seulement le tirage, mais contribuaient aussi à atténuer les cahots. L'élasticité des brancards auxquels était suspendu le châssis par de forts câbles, était très-utile et servait également à diminuer la violence des secousses. Les limons du fardier étaient placés à la hauteur de 1$^{\text{mèt.}}$, 28 : toutes les parties du fardier étaient réunies ensemble avec des boulons, de manière à pouvoir être avec facilité montées et démontées.

271. Le groupe ayant été assuré sur son châssis sans qu'on eût eu besoin de lui faire éprouver le moindre déplacement, on éleva et on présenta à la face postérieure du piédestal les roues de derrière réunies par leur essieu et le lisoir; les roues avec toutes les pièces qui composaient l'avant-train du fardier et les brancards, ont été liées entre elles et avec le lisoir de l'arrière-train par des équerres boulonnées. Dans cet état de choses le groupe, reposant sur son châssis, se trouvait au milieu du chariot. Alors les extrémités saillantes des essieux de fer insérés dans le châssis furent enveloppées de paille et de cuir, et par la tension de quatre gros câbles, elles se sont trouvées suspendues aux brancards du fardier. Le groupe étant ainsi placé et assujetti dans le fardier, le restant du massif du piédestal a été démoli, et la totalité de la charge s'est trouvée alors suspendue aux câbles, et supportée par les brancards auxquels ils étaient attachés. Pour soulager les quatre câbles qui portaient le châssis, deux autres câbles, moindres que les précédens, partaient du tiers de la longueur des brancards et passaient sous le châssis; enfin quatre guindages, dont deux étaient attachés à des an-

neaux de l'avant-train, et deux à l'arrière-train, retenaient en montant et en descendant la poussée antérieure et postérieure du châssis. Pour empêcher que le groupe n'eût des mouvemens d'ondulation, lorsque le fardier aurait été en mouvement, on avait placé sur le devant et sur le derrière du châssis qui supportait la statue, une croix de Saint-André dont les parties supérieures, se trouvant à une petite distance des brancards, arc-boutaient contre eux toutes les fois que le groupe tendait à pencher d'un côté ou d'autre. Quatre ouvriers intelligens avec deux crics à pates ont suffi pour placer le fardier, mettre le groupe en charge et le descendre au bas du plancher. Le groupe monté sur le fardier, étant ainsi descendu de son échafaud, a été traîné, au moyen d'un cabestan, l'espace d'environ cent toises, jusqu'à une brèche pratiquée à cet effet dans le mur qui forme l'enclos du jardin de Marly. Il y a été ensuite descendu par un chemin en pente, en attachant des câbles en retraite, et en les entortillant successivement aux arbres qui bordent ce chemin; le groupe livré à son propre poids a été conduit ainsi jusqu'à l'abreuvoir construit au bas du jardin. Dans cet endroit, dix chevaux ont été attelés au fardier, et six en retraite pour assurer la marche jusqu'au port de Marly, dans une descente assez rapide ayant environ une demi-lieue de longueur. Le trajet de Marly à Paris a été fait en cinq heures; l'équipage était attelé, dans la plaine, de dix chevaux ordinaires, et de seize en montant. La distance qu'on a parcourue est à peu près de trois lieues et demie. Les chevaux n'ont fait dans la route qu'un effort équivalant à celui qu'ils exercent pour le tirage des voitures ordinaires de ville. Si l'on évalue le poids du groupe, du châssis et du fardier, on s'apercevra que l'on doit au choix des dimensions du char, un transport aussi prompt et aussi facile.

272. Les fondations du nouveau piédestal qui devaient supporter le groupe ne furent d'abord élevées que jusqu'au niveau de la chaussée, de manière qu'on a pu conduire et placer le fardier sur ce piédestal même; le châssis a été ensuite calé et disposé, quoique dans un point inférieur, précisément comme il devait être pour que le groupe se trouvât dans la même situation qu'il devait avoir au sommet du piédestal. Alors les câbles ont été détachés et les roues antérieures et postérieures du fardier successivement enlevées avec leurs brancards; en un mot, le groupe, débarrassé du char qui l'enveloppait, était placé de manière à être fixé à la place qui lui était destinée, par une simple élévation perpendiculaire, sans qu'il fût besoin de le déplacer, dans aucune direction oblique ou horizontale.

273. La statue équestre de Louis XV, qui décorait autrefois la place du même nom à Paris, exécutée par le célèbre *Bouchardon*, était remarquable non-seulement par sa beauté, mais parce que c'était le plus grand ouvrage qui eût été fondu jusqu'alors en bronze d'un seul jet; elle avait 21 pieds de hauteur, et elle pesait environ cinquante-cinq milliers. Les autres statues équestres faites auparavant, avaient été fondues en plusieurs pièces séparées, telle que celle antique de Marc-Aurèle à Rome, de Cosme de Médicis à Florence; celles de Henri IV, sur le Pont-Neuf à Paris, et de Louis XIII, dans la place Royale, qui furent détruites au commencement de la révolution. La chaire de Saint-Pierre de Rome, qui est un ouvrage en bronze de 80 pieds de hauteur, fut, ainsi que le revêtement de la colonne de la place Vendôme à Paris, fondu de plusieurs morceaux séparés remontés sur une armature de fer. M. *Le Moine* avait disposé le tout pour fondre d'un seul jet la statue équestre de Louis XV pour la place de Bordeaux. Cette statue avoit 14 pieds 7 pouces de hauteur; et, quoique par un accident le bronze n'ait rempli

que la moitié de l'ouvrage, il a réparé cet accident par la hardiesse de fondre après coup la partie supérieure, en sorte que l'une et l'autre se joignaient parfaitement. Le colosse de Saint-Charles Borromée, à Arona sur le lac Maggiore, à quinze lieues de Milan, a plus de 80 pieds de hauteur; c'est la plus grande statue que l'on connaisse maintenant; elle est faite de plusieurs morceaux de cuivre de platinerie; et il est à présumer que le colosse de Néron sous la figure du Soleil, et le colosse de Rhodes étaient construits de la même manière. La statue du connétable de Montmorency, qu'on voyait à Chantilly avant la révolution, était aussi faite de plusieurs morceaux de platinerie. A l'égard de la statue de Louis XV dont nous devons parler, après qu'elle fut fondue il fallut d'abord la retirer de la fosse. On avait établi tout à l'entour une forte charpente avec des planchers à différentes hauteurs, sur lesquels on plaça huit treuils. Un fut mis vis-à-vis de la tête du cheval, un autre du côté de la croupe, et trois sur chacun des flancs. On fit passer sous le ventre du cheval une forte pièce de bois de 20 pouces d'équarrissage sur 9 pieds de longueur, et l'on y adapta sur la droite et la gauche des échatignoles à qui l'on fit prendre le plus exactement qu'il fut possible un contour pareil à celui que présentait la figure à l'endroit où le bois l'embrassait; on interposa entre le bois et le bronze de petits coussins remplis de bourre, pour s'opposer aux effets nuisibles des frottemens. Deux paires de moufles à six poulies furent attachées aux deux bouts de cette pièce de bois. Quatre paires de moufles à 4 poulies furent mises deux sur chaque flanc de la figure équestre ; on les accrocha à de doubles et triples rangs de cordages, qui faisaient plusieurs tours et qui embrassaient la figure en passant sous le ventre du cheval près de la naissance des cuisses et des épaules. On ajouta à ces six paires de moufles deux paires de poulies à un seul rouet, et uni-

quement destinées à tenir la figure en équilibre, et à l'empêcher de s'élever, en montant, de plus sur le devant que sur le derrière. Ces écharpes étaient attachées à cet effet, par le bas, à des groupes de cordages qui, passant sous le ventre du cheval, l'embrassaient en remontant, tant au droit du jarret, que par le derrière de la selle du cavalier, et de ce dernier endroit partait un cordage particulier qui se liait avec la queue du cheval et qui servait à le tenir également en équilibre. Il y eut quatre ouvriers de distribués à chaque treuil; deux y étaient pour abattre, c'est-à-dire, pour tirer à eux avec des cordages les bras ou leviers; un troisième tenait le câble qu'il faisait filer à mesure qu'il se développait; le quatrième servait à ployer le câble qui avait filé, et était encore chargé de prendre la retraite, lorsque le treuil était entièrement couvert du câble. M. *L'Herbette*, qui était le mécanicien qui dirigeait cette opération, monta sur l'endroit le plus éminent de la figure, au milieu des cordages; et de là il ordonnait aux ouvriers qui manœuvraient aux treuils les mouvemens convenables et, pour éviter la confusion, chaque treuil avait son numéro; l'ouvrier qui était chargé de ployer le câble recevait les ordres et les transmettait à ses compagnons. Au bout d'environ trois heures de travail, la statue fut hors de la fosse et fut même portée à une assez grande élévation pour que les fers du scellement qui descendaient quatre pieds plus bas que le dessous des sabots du cheval, ne pussent s'opposer au passage du chariot sur lequel la statue devait reposer pendant le transport. On construisit ensuite un fort plancher de madriers sous la statue et sur toute la route que le chariot chargé de la statue devait parcourir pour sortir de l'atelier, observant que la pente fût douce. Ce travail achevé, on conduisit sous la statue le chariot dont on avait démonté auparavant toutes les pièces qui devaient soutenir et assujettir la figure; et, après avoir pris avec

précision tous les aplombs, et s'être précautionné pour que la figure équestre s'y encastrât d'elle-même, on remonta toutes les pièces de charpente du chariot, ensuite on la fit descendre, en lâchant peu à peu les câbles qui la tenaient suspendue.

274. Les roues du chariot sur lequel elle fut posé étaient pleines; celles de derrière avait 4 pieds de diam., et celles de devant, 3 pieds 6 pouces, leur épaisseur au centre était de 18 pouces, et 15 sur les bords. Chacune de ces roues était formée par trois tourtes de bois de chêne appliquées l'une sur l'autre, et quatre chanteaux qui se croisaient et s'emmanchaient à pointe de diamant; douze étriers de fer, distribués sur le bordage des roues, embrassaient étroitement les trois tourtes, et y étant embrevés sur leur épaisseur, et attachés avec de forts clous, aucune des pièces de bois qui composaient la roue ne pouvait branler; pour les rendre encore plus fermes, des rondelles de fer, deux sur chaque roue, et correspondant l'une à l'autre, étaient pareillement embrevées dans le bois, et retenues par plusieurs boulons de fer. Chaque roue était entourée de trois cercles de fer, qui avaient 3 pouces de largeur, et 10 lignes d'épaisseur : et l'ouverture de la roue, par où passait l'essieu, était revêtue de fer; on avait mis derrière chaque roues des rondelles de fer. Les deux essieux étaient de bois de chêne; celui du train d'avant avait 12 pouces de large sur 20 de hauteur, et celui du train de derrière 14 pouces sur 16; ils avaient 9 pieds de longueur; leurs extrémités étaient solidement fretées. La flèche qui réunissait les deux trains avait 12 pieds de longueur et 6 pouces d'équarrissage. Un tirant de fer placé sous la flèche, empêchait que les deux corps d'essieu pussent s'écarter, et ajoutait une nouvelle force à celle de la flèche; un étrier de fer, suspendu à la flèche, le soutenait et l'empêchait de plier. L'avant-train, fait de

manière à procurer au chariot la facilité de tourner, était composé comme aux voitures ordinaires. Le timon avait 16 pieds de longueur et 8 pouces de diamètre. Ce chariot était surmonté d'un corps de charpente, dont toutes les pièces, liées ensemble, et buttant l'une contre l'autre, embrassaient dans tous les sens la figure qui s'y trouvait comme enchâssée, sans pouvoir sortir de son aplomb, ni vaciller en aucune manière; elle y était placé de manière, qu'elle ne pouvait pas toucher la charpente par la précaution qu'on avait prise de garnir de coussins remplis de crin, tous les endroits qui l'approchaient. La fig. 2 (planche XVI) représente ce chariot avec la charpente dont il est surmonté. Il faut faire attention qu'une statue équestre de bronze, n'ayant pas de socle, ne peut être soutenue que par des appuis placés sous le ventre du cheval. Il faut aussi observer que, pour pouvoir sceller cette statue, et la soutenir solidement sur son piédestal, on place avant la fonte, dans l'intérieur du corps du moule du cheval, une armature de fer d'où partent de longues et fortes barres qui sortent des pieds du cheval : dans la statue de Louis XV, ces barres descendaient, comme nous avons déjà dit, quatre pieds plus bas que le dessous du sabot du cheval. Ainsi donc, les appuis, pour soutenir la statue équestre, devaient être élevés au-dessus du sol au moins de 12 pieds. Cette élévation excluait nécessairement l'usage des fardiers; mais on aurait pu se servir d'un traîneau, et y placer simplement dessus un appareil de charpente, semblable à celui qui était disposé sur le chariot. Par cette dernière méthode, plus économique, sans être ni moins sûre, ni moins expéditive, on aurait épargné la construction des roues et autres parties inférieures du chariot.

275. La statue fut transportée du faubourg du Roule, où était la fonderie, et elle mit trois jours et demi à arriver à la place. Le chariot fut traîné par seize hommes appliqués à deux cabestans,

tandis que quatre autres poussaient avec des leviers de fer les roues. De dix toises en dix toises environ, on enlevait quelques pavés pour placer un point d'appui, afin de contenir solidement un de ces cabestans; ensuite on tournait le treuil tout doucement et sans secousses, lequel faisait filer autour de son axe un câble attaché au timon du chariot pour le faire avancer pendant cette opération; on transportait le second cabestan; on lui donnait un nouveau point d'appui, de sorte que quand l'un ne pouvait plus agir l'autre continuait d'attirer la statue, et ainsi successivement. Le timon du chariot n'était destiné à autre chose qu'à servir de levier pour donner plus de facilité à faire tourner le chariot. On avait placé sur l'extrémité antérieure de ce timon une pièce de bois cintrée, qui avait environ huit pieds de long, et six pouces de large sur trois d'épaisseur; elle passait à travers une ouverture en forme de mortaise, qui était pratiquée dans le corps et à la tête du timon, et elle y était retenue par un boulon; elle était percée de plusieurs trous sur son plat; chacun desquels était destiné à recevoir alternativement, et selon le besoin, la tige d'une poulie de cuivre, qui, tournant horizontalement sur son lit plat quand elle agissait, s'y trouvait ainsi fichée; tantôt elle se plaçait plus près, et tantôt plus loin du timon, soit à la droite, soit à la gauche. Voulait-on faire tourner le chariot sur la droite, on plaçait la poulie sur la gauche du timon, et, faisant passer dans son canal le câble, qui de ce côté était amarré à l'avant-train, on lui faisait gagner un cabestan établi à la droite. On eût pu, s'il l'eût fallu, par ce moyen, en s'y prenant à différentes reprises, faire décrire à tout le chariot un cercle entier. La statue avec le chariot pesait soixante milliers. Les câbles qui la tiraient avaient trois pouces de diamètre.

CHAPITRE VIII.

Transport de portions de murs, de chapelles et autres parties d'édifices.

276. Il arrive quelquefois, lorsqu'on doit démolir ou changer la disposition d'un édifice, que quelques-unes de ses parties soient revêtues de peintures et d'ornemens précieux de sculpture, qu'on ne peut conserver qu'en transportant entièrement les mêmes parties. On admire dans la *Pinacothèque* de Brera, à Milan, une très-belle collection de peintures à fresque de Luino, un des meilleurs maîtres de l'école de Léonard de Vinci. Toutes ces peintures, qui existaient autrefois dans des couvens qui furent supprimés, ont été transportées avec la partie du mur sur laquelle elles étaient appliquées. Un des autels de Saint-Pierre de Rome était décoré d'une célèbre peinture à fresque du Dominiquain, représentant le martyre de Saint.-Sébastien. Cette peinture, qui avait 22 pieds de hauteur, et 13 pieds de largeur, appliquée sur le mur même, était environnée par un arc, et par d'autres décorations en marbre fin. Comme on avait déterminé de remplacer toutes les peintures de l'église de Saint-Pierre par des mosaïques, on ordonna de détacher celle dont nous parlons, pour la transporter avec le mur, sur la surface duquel elle était appliquée, dans l'atelier des peintres en mosaïques qui devaient la copier; mais on ordonna aussi d'effectuer cette opération sans démonter les marbres qui l'entouraient, et surtout sans les endommager; on ne devait ôter que la corniche qui la bordait et qui avait à peu près un pied de largeur : ainsi, donc, l'incision à faire au mur tout à l'entour, ne pouvait excéder un pied, de sorte qu'il n'y avait pas un espace suffisant pour renfermer le mur dans un châssis solide, comme on le pratique

ordinairement. Lorsque cet ordre fut donné, la plupart des artistes jugèrent qu'on ne pouvait l'exécuter; cela n'empêcha pas le fameux *Zabaglia* de se charger, et d'effectuer l'opération avec le plus grand succès. Il fit d'abord ôter la corniche d'en bas. Il fit ensuite couper avec toutes les précautions imaginables le mur que cette corniche recouvrait, après avoir cependant introduit perpendiculairement dans le mur deux barres de fer pour le soutenir, et l'étayer pendant l'opération; lorsque cette coupure fut faite, il y plaça un gros madrier sur lequel le mur coupé reposait exactement, ayant eu l'attention de remplir soigneusement tous les espaces vides qui pouvaient se trouver entre les deux. On ôta ensuite la corniche des parties latérales, et on continua la coupure tout autour jusqu'à ce que le mur peint fût entièrement isolé, et soutenu seulement par le madrier sur lequel il était assis. Ce madrier dépassait de chaque côté et avait deux mortaises pour y placer les tenons des montans du châssis qui devait renfermer le mur détaché, après qu'on l'aurait fait sortir de l'arc dans lequel il se trouvait. Voilà comment *Zabaglia* s'y prit pour le faire sortir. Il fit construire un plancher solide, de niveau avec la partie inférieure de la muraille peinte; on plaça sur ce plancher, tout auprès de la peinture un rouleau; on introduisit l'extrémité de deux longs leviers sous le madrier qui soutenait la muraille peinte; ces leviers s'appuyaient sur le rouleau, et plusieurs hommes, faisant effort sur l'autre extrémité, soulevèrent cette muraille; d'autres ouvriers intelligens; montés sur des échelles, soutenaient le haut, et empêchaient qu'il n'y eût des ondulations irrégulières. Quand la muraille fut soulevée, un autre ouvrier avec un levier à la main fit avancer insensiblement le rouleau un peu d'un côté, un peu de l'autre, jusqu'à ce qu'elle fût sortie de l'arc. Alors on put facilement former le châssis qui devait l'environner;

on couvrit la peinture avec des feuilles de papier collées ensemble, et la muraille fut revêtue par-devant et par-derrière soigneusement avec des étoupes et des nattes, et au-dessus de tout cela, avec des madriers et de petites poutres clouées et chevillées avec des boulons à vis, qui réunissaient et serraient fortement celles des deux faces. Enfin, après qu'on l'eût affermie de manière à ce qu'elle ne pût éprouver la plus petite altération, on la descendit à terre et on la plaça sur le traîneau, non pas couchée à plat, mais posée sur le côté; plusieurs pièces de bois, obliques et appuyées entre le traîneau et le revêtement de la muraille, l'empêchaient d'abandonner aucunement la situation dans laquelle on l'avait disposée. Elle fut conduite sans accidens à l'atelier, où, après qu'on l'eut dressée, on la dépouilla du revêtement qui couvrait la peinture, et on eut la satisfaction d'observer qu'elle n'avait éprouvé aucune altération. La copie en mosaïque étant faite, la peinture à fresque avec son pan de muraille fut placée dans l'église de Santa-Maria agli Angeli, où elle existe encore.

277. L'ancienne chapelle du Presepio, qui est placée sous l'autel de la grande chapelle du Saint-Sacrement, dans la basilique de Santa-Maria Maggiore, à Rome, était autrefois placée à une plus grande hauteur, et à 57 pieds de là. Ce fut Dominique Fontana, qui, par ordre du pape Sixte V, transporta cette chapelle et la plaça dans le lieu qu'elle occupe à présent. Cette chapelle, construite avec peu de solidité et avec de mauvais matériaux, a une porte et une grande fenêtre en face, ornée de marbre; la voûte est couverte de mosaïques.

278. La première opération que l'on fit, fut de faire passer sous les murs, d'un côté à l'autre, des poutres; à cet effet on y perça des trous. A l'extrémité des poutres qui sortaient des murs, on établit d'autres poutres longitudinales, sur lesquelles on dressa

perpendiculairement des montans. On forma ainsi des châssis sur toutes les faces de la chapelle, sous le fondement et sur le haut : ces châssis étaient composés de fortes pièces de bois bien liées les unes avec les autres et convenablement chevillées. L'intérieur de la chapelle fut étançonné solidement et soutenu de tous les côtés. Ces étançons contre-buttaient contre les pièces de charpente qui environnaient l'extérieur, de sorte que les murs de la chapelle, se trouvant comprimés entre eux, ne pouvaient éprouver aucun dérangement; et, pour plus de sûreté on avait encore revêtu avec des madriers tous les espaces entre les poutres. Lorsque la chapelle fut bien affermie, et qu'on eut ajouté des ferrures dans plusieurs endroits, on la détacha de ses fondemens; et, à mesure que la coupure avancait, on plaçait des rouleaux sous les murs, de sorte que, lorsqu'on eut fini de couper, elle se trouva entièrement placée sur ces rouleaux. Alors on commença à tirer tout le système avec deux cabestans, et on le conduisit jusqu'au-dessus directement de l'endroit où elle devait être placée; mais il fallait en outre qu'elle fût descendue de sept pieds plus bas que le sol où elle se trouvait alors. On avait déjà préparé les fondemens qui devaient la soutenir, et couvert la fosse avec un plancher formé par de grosses poutres, sur lequel on la conduisit d'abord provisoirement. Ensuite on l'environna de tous les côtés avec des ceintures de gros câbles qui passaient et repassaient sous les murs de la chapelle. On y attacha plusieurs paires de moufles, lesquelles combinées avec des cabestans servirent pour l'élever autant qu'il fallait pour ôter les poutres qui formaient le plancher; et enfin on relâchait les cordes pour la laisser descendre peu à peu, et la placer sur les fondemens qu'on avait construits. Cette opération a été si bien conduite, qu'en examinant cette chapelle, on dirait qu'elle a été bâtie dans le même endroit où on la voit.

CHAPITRE IX.

Transport des fardeaux sur les plans inclinés. Description des moyens qu'on emploie pour lancer les vaisseaux à la mer, pour les tirer à terre, et pour remettre à flot ceux qui sont échoués.

279. Si des hommes ou des chevaux doivent traîner un fardeau le long d'une montée, il y a un moyen bien simple de faciliter cette opération, qui consiste à attacher une poulie à un arbre ou à un autre point fixe quelconque, placé au haut de la montée; et de faire passer un câble sur cette partie, à une des extrémités duquel on attache le fardeau, tandis que les moteurs sont appliqués à l'autre extrémité, de manière qu'ils descendent pour le faire monter. Mais, comme souvent on ne trouve pas de ces sortes de points fixes disposés convenablement, qu'il serait embarassant d'en établir, on a inventé depuis long-temps un instrument qui en tient lieu : cet instrument se trouve décrit dans quelques recueils de machines, et entre autres dans le *Theatrum machinarum* de *Jacob Léopold*. Il est composé d'un rouleau qui est soutenu à ses deux extrémités par deux branches de fer terminées en pointes, et qui peuvent s'ouvrir plus ou moins comme un compas. Cet instrument, dont les branches s'insinuent dans le terrain et arc-boutent contre le rouleau pour l'empêcher de se laisser entraîner, tient lieu de point fixe et de poulie, et peut se transporter d'un endroit à un autre. On attache une corde au chariot sur lequel est placé le fardeau; cette corde monte pour passer sur la poulie ou sur le rouleau, et ensuite redescend parallèlement; on attache les hommes ou les chevaux à son extrémité inférieure, et en descendant ils font monter le fardeau. Par ce moyen ils tirent bien plus commodément et avec

plus de force : car une plus grande partie du poids de leur corps contribue alors à produire la traction. On a proposé plusieurs fois de faciliter la montée des fardeaux au moyen des contre-poids; mais, quoique cette méthode soit ordinairement embarrassante, il peut y avoir des cas où l'on pourrait la mettre en pratique avec utilité.

280. Quelques fardeaux ont des formes particulières qui facilitent considérablement les opérations de les faire monter ou descendre sur les plans inclinés. C'est ainsi que les marins, avec une simple corde, sans l'aide d'aucun palan ni autre appareil mécanique, font monter ou descendre les tonneaux d'un quai ou d'un vaisseau dans une barque ou chaloupe, et monter de la barque sur le quai ou dans le vaisseau, quoique les tonneaux soient très-pesans. Ils indiquent cette manœuvre par le nom de *trévire*. On attache le milieu ou double de la corde, à un endroit fixe, poteau ou corps-mort. On passe les deux branches de la corde autour de la circonférence du tonneau, on les tient également tendues avec le nombre suffisant de bras. Le diamètre du tonneau sert de levier pour aider la puissance; on tire, ou bien on file insensiblement et en même mesure, les deux bouts pour monter le tonneau ou le laisser descendre. Cette industrie n'est pas particulière aux marins; on la voit employer aussi par les gens de terre qui descendent des tonneaux dans les caves, ou les en font sortir.

281. De toutes les opérations que l'on effectue sur des plans inclinés, les plus considérables et les plus importantes sont celles de lancer les vaisseaux à la mer, de les tirer à terre, et de remettre à flot ceux qui sont échoués. Les vaisseaux se construisent sur un plan incliné, placé sur le rivage de la mer. La partie de ce plan incliné sur laquelle le vaisseau repose s'appelle *cale*, et celle qui se prolonge dans la mer, *avant-cale*. La longueur

de ce plan incliné, qui doit être construit avec la plus grande solidité, est ordinairement de 200 ou 220 pieds; sa pente est de 10 à 14 lignes par pied, sa largeur de 24 pieds. Dans plusieurs arsenaux de marine, les cales et avant-cales sont en maçonnerie, établies sur des pilotis. Dans d'autres, elles ne sont qu'en charpente; les premières sont sous tous les rapports préférables; mais de quelque manière qu'elles soient faites, leur surface supérieure est toujours couverte par des pièces de bois qui se joignent, et qui sont posées perpendiculairement à la direction de la quille; elles sont un peu arrondies par le haut, et elles doivent être travaillées et posées avec beaucoup de soin pour qu'elles soient exactement de niveau sur la largeur de la cale, pour qu'elles se raccordent parfaitement les unes avec les autres, et pour qu'elles puissent être très-unies et sans scabrosités dans les parties où le berceau du vaisseau doit glisser. (Voy. les fig. 1, 2, 3 de la pl. XX qui représentent la position du vaisseau sur son ber.)

282. On appelle *berceau* ou *ber*, un espèce de grand traîneau sur lequel est soutenu le vaisseau lorsqu'on le lance à la mer. Le berceau est composé de deux *coëtes* ou *anguilles*, *a a*, qui sont deux fortes pièces d'assemblage, de la longueur environ de la quille, et ayant un équarissage proportionné au vaisseau, de 20 à 21 pouces pour les plus grands. On place ces coëtes sur la cale de chaque bord, parallélement et à égale distance de la quille. La distance entre elles de dehors en dehors, est ordinairement de 15 pieds. L'ouverture entre ces anguilles se conserve au moyen des traversins *b b* arc-boutans sur la quille et entaillés à épaulettes sur les coëtes, sur lesquelles ils sont cloués. Cet établissement les empêche de se rapprocher, et pour qu'elles ne s'éloignent pas, on fait, à force de cabestans, les *rostures c c* : on appelle ainsi de fortes ligatures, faites avec plusieurs doubles de bons cordages au moyen des chevilles à boucles, goupillées sur la

face latérale et extérieure de l'anguille. Les anguilles sont de plus assemblées par des traversins de l'avant et de l'arrière. Il faut ensuite faire porter le vaisseau sur ces anguilles; pour cela l'on pose, dans toute la longueur du bâtiment, et environ de six pieds en six pieds, des pièces perpendiculaires à la coëte, et d'environ 15 à 18 pouces de diamètre suivant la force du navire. Ces pièces *f f f* s'appellent *colombiers*; elles sont à épaulettes à leur extrémité inférieure pour être clouées sur l'anguille et à sifflet, à leur extrémité supérieure, suivant la façon du vaisseau qu'elles doivent toucher parfaitement dans cette partie. Dans la partie du vaisseau, où la varangue a peu d'acculement, on établit verticalement au-dessus de la coëte les ventriers *g g*; ce sont des pièces coupées dans leur lit supérieur suivant la façon du vaisseau, et dont la face inférieure est parallèle à celle de l'anguille, sur laquelle sont les massifs, qui ne laissent entre eux et les ventriers, que l'espace nécessaire pour y chasser des coins de burin, afin de soulager le vaisseau avant de couper les chantiers, et de lever les accores sur lesquelles il porte : là où sont les ventriers, les colombiers sont aussi à épaulette à leur extrémité supérieure, pour prendre sur cette garniture. Les colombiers sont serrés ensembles et contre le vaisseau par des *rostures h h* qui portent sur les entailles ou adens pratiqués sur leur face extérieure : ces rostures, faites à force de cabestans, et à chaque tour, passent sous la quille, et vont ainsi d'un colombier à l'autre; elles reposent sur les adens ou entailles; le vaisseau ne peut pas faire force sur ces rostures qu'il ne tende à rapprocher les colombiers, qui alors forcent d'autant plus de bas en haut. On pose des arc-boutans, du colombier sur la coëte, en opposition à l'effort des façons du vaisseau de l'avant à l'arrière, et de l'arrière à l'avant : on cloue aussi des *gardes* pour lier la tête des colombiers.

283. Pour arrêter ce berceau sur le chantier, ainsi que le vaisseau qu'il doit supporter jusqu'au moment de le lancer à la mer, on place des clefs debout et sur les traversins du chantier; on passe d'ailleurs plusieurs tours de forts grelins *p p* en forme de bagues, dans un organeau, ou plus communément dans une mortaise pratiquée à l'extrémité supérieure de l'anguille. On fait passer dans ces bagues plusieurs autres tours de cordage, qui passent aussi immédiatement sur le traversin d'un corps-mort, ou dans le double de bouts de câbles qui y sont bittés; on roidit cet appareil, qui s'appelle les *saisines*, au moyen d'une bridure; mais l'arrêt du vaisseau, sur lequel on peut le plus compter, ce sont les clefs ou sous-barbes qui arc-boutent sur le chantier et l'étambot.

284. Pour faire usage du berceau, avant de lancer le vaisseau, on burine, c'est-à-dire on frappe à coup de masses et ensemble, à plusieurs reprises, sur les *coins de burins*. Quand le temps est sec, on arrose avec des pompes les rostures pour augmenter leur degré de tension; on lève les accores, et les chantiers sur lesquels repose la quille; ces chantiers ne sont pas ceux sur lesquels on a construit le vaisseau; on en avait haché, à l'avance, la garniture supérieure une à une, et on l'avait remplacée par des coins de burins, chassés à coup de masses. Ces chantiers et ces accores levés, le vaisseau porte entièrement sur son ber. Les anguilles ont été suiffées avant leur mise en place, ainsi que l'endroit de la cale sur lequel elles reposent : l'avant-cale, ou le lieu de cette cale sur lequel le vaisseau doit courir, a pareillement été suiffé : il ne reste, pour faire partir le vaisseau, qu'à lever les clefs et couper les saisines. On tente de lever celles de l'étambot; le plus souvent on est obligé de les couper; on lève ensuite les clefs de bout des anguilles, au commandement qui en est fait par l'ingénieur chargé de l'opération; on lève ces clefs ainsi que

celles de côté, avec de fortes barres d'*anspect*, qui ont, à une petite distance de la clef, un billot pour point d'appui. Les clefs de bout levées, on lève celles des côtés, et on coupe les saisines; souvent le vaisseau, ayant fait un petit mouvement, les rompt, ou au moins il part aussitôt. Le travail de lever les chantiers et les accores se fait peu à peu, et est l'ouvrage de plusieurs heures; car il ne serait pas prudent de brusquer cette opération, et d'abandonner subitement le vaisseau sur son ber; il faut au contraire le laisser s'y rasseoir peu à peu. D'abord on lève les chantiers, n'en laissant que trois ou quatre de l'avant à l'arrière; ensuite on lève le premier rang d'accore, deux à deux, les deux pareils de tribord à bas-bord, et puis le second, et après le troisième, laissant un quart-d'heure environ entre la levée de chaque rang, et aussitôt qu'il n'y a plus d'accore, on s'occupe de lever les clefs pour tout de suite lancer le vaisseau. Il y a sur, et dans toute la longueur de la cale de construction, deux fortes lisses soutenues par des taquets de côté, qui forment une espèce de coulisse dans laquelle doit se faire le mouvement du bâtiment, et qui empêche le vaisseau de se dévoyer; il y a six à douze lignes de jour entre chaque anguille et sa lisse; on couvre ce jour avec des planches appelées *paracloses*. Il y a sur les berceaux des orins avec leurs bouées pour le repêcher après l'opération; car il coule à fond, et le vaisseau, venant à flotter, le quitte et passe par-dessus; ces orins sont suspendus à bord du vaisseau avec des bouts de ligne capables seulement de le supporter, mais qui cassent tout de suite dans la course du vaisseau, le berceau étant échoué. Le vaisseau a des câbles de retenue, qui ont été prolongés sur la cale, et qui sont amarrés à bord sur des bosses, qui, se cassant, amortissent l'air du vaisseau, lequel est d'ailleurs arrêté par une drôme sur laquelle l'étambot va heurter. Pour qu'il ne s'endommage pas par ce choc, il y a

une garniture de bois tendre dans l'endroit où il doit avoir lieu.

285. Nous allons ajouter aux détails précédens, extraits la plupart du *Traité élémentaire de la construction des bâtimens de mer* par M. *Vial de Clairbois*, les remarques suivantes de M. *Coulomb*. Lorsqu'un vaisseau est entièrement supporté par son berceau pour être lancé à la mer, les surfaces de contact sont souvent chargées de plus de 7000 livres par pied carré. La grande quantité de suif dont le chantier est enduit, les différens accores et les clefs qui soulèvent le vaisseau, et que l'on ne fait sauter que dans l'instant où l'on veut le mettre à l'eau, empêchent que le plan des deux pièces de bois qui forment la base du berceau, et qui doit glisser sur le chantier, ne s'engraine dans la surface de ce chantier. Le vaisseau part ordinairement tout seul par le seul ébranlement qu'il éprouve en coupant deux gros câbles qui le soutiennent au sommet du chantier. Il est absolument nécessaire, pour le succès de cette opération que la couche de suif interposée entre la base du berceau et du chantier soit très-épaisse, très-pure, et que le suif ait beaucoup de consistance. Quelquefois l'on met sur le suif un second enduit de vieux-oing, mais M. *Coulomb* désapprouve ce procédé, parce que le vieux-oing ne fait que ramollir le suif, accélérer le rapprochement des surfaces, et augmenter le frottement. Lorsqu'un vaisseau est en mouvement, il paraîtrait que le frottement des bois enduits de suif n'étant que le vingt-septième de la pression, et l'inclinaison du plan étant toujours au moins de 10 lignes par pied, le vaisseau devrait s'accélérer avec beaucoup de rapidité; c'est aussi ce qui arrive presque toujours; mais cependant quelquefois il s'arrête au milieu de sa marche. Voici, suivant M. *Coulomb*, les raisons de cet événement : il s'en faut de beaucoup que les surfaces des bois qui sortent de la main de l'ouvrier, aient acquis le degré de poli

qu'avaient les surfaces qu'il avait soumises aux expériences, et qui lui donnèrent le résultat ci-dessus rapporté, mais qui lui firent connaître en même temps que les bois polis à neuf, enduits de suif, donnaient beaucoup d'irrégularité dans les frottemens, qui, au lieu d'être toujours la vingt-septième partie de la pression en étaient quelquefois la douzième et la treizième. Or, comme l'inclinaison du chantier à 10 lignes par pied, ne donne pas tout-à-fait, pour la force accélérante, le quatorzième de la pression, il n'est pas étonnant que le bâtiment s'arrête souvent au milieu de sa course : un moyen de prévenir en partie cet événement serait de faire glisser à plusieurs reprises, en enduisant de suif, un traîneau chargé d'un grand poids, sur les surfaces qui doivent se trouver en contact lorsque le berceau court sur le chantier. Par cette opération préparatoire, l'on ferait disparaître les inégalités qui rendent les frottemens irréguliers dans les surfaces neuves ; mais, ce qui pourrait peut-être encore mieux réussir, ce serait de former le dernier lit, ou la surface du chantier, avec des pièces de bois d'orme, en donnant une plus grande largeur aux surfaces en contact. M. *Coulomb* a trouvé, en mettant en expérience un traîneau de chêne porté par un madrier de bois d'orme enduit de suif, le fil de bois se recoupant à angles droits, que non-seulement le frottement était moindre que dans les surfaces de chêne sur chêne, mais qu'il était, surtout dans les surfaces neuves, beaucoup moins irrégulier. Il paraîtrait que les inégalités dont la surface du bois d'orme est couverte, étant très-flexibles, se plient dans la marche du traîneau, et produisent moins d'irrégularités que le chêne, dont les fibres sont beaucoup plus dures. D'ailleurs, ce qui est décisif ici, c'est que l'engrenage des parties, qui produit la grande résistance que l'on éprouve en détachant les surfaces après un certain temps de repos, se fait dans le bois d'orme glissant sur le chêne, beaucoup plus lente-

ment que dans le chêne contre chêne. Voici encore une cause des irrégularités de frottement du berceau glissant sur le chantier : le vaisseau qui part d'abord lentement, s'accélère ensuite, et la vitesse est telle que les surfaces de contact contractent un degré de chaleur capable de les enflammer. Par là, il arrive que la couche de suif interposée entre les surfaces de contact se fond et perd toute sa consistance ; en sorte que la base du berceau joint la surface du chantier comme s'il n'y avait point de suif interposé entre les surfaces de contact : or, dans le cas des surfaces seulement onctueuses, M. *Coulomb* a trouvé que le frottement était le seizième de la pression ; ici, il doit être encore plus grand, parce que la chaleur fond le suif jusque dans les pores des bois. Si, par cette cause ou par quelque autre le vaisseau vient à s'arrêter, le suif interposé entre les surfaces se trouvant entièrement fondu, elles s'engrèneront dans un instant comme si les bois étaient secs, et il faudra, pour détacher de nouveau le berceau, employer une force qui soit au moins le tiers de la pression ; aussi arrive-t-il souvent qu'après un pareil accident il n'y a d'autre moyen, pour faire mouvoir le vaisseau, que de séparer les surfaces en contact et d'y mettre un nouvel enduit.

286. L'opération de remettre à flot un vaisseau présente ordinairement de grandes difficultés. M. *Chicallat*, habile constructeur de Marseille ; est parvenu à les surmonter d'une manière très-simple et très-ingénieuse. Nos lecteurs se rappellent sans doute du procédé que *Métagènes* mit en usage pour transporter les énormes blocs de pierre qui devaient servir pour former les architraves du temple de Diane d'Éphèse (117), qui fut de renfermer ces architraves dans le milieu d'un grand cylindre, qu'il faisait ensuite rouler sur le terrain. M. *Chicallat* se servit d'un moyen à peu près semblable, dans l'année 1805, pour re-

mettre à flot un vaisseau américain échoué sur la plage de Figneaux, dans le golfe de Lyon. Le port de ce vaisseau était d'environ 244 tonneaux; il fit construire tout autour, un grand cylindre dont l'axe passait à peu près par le centre de gravité du vaisseau. Ce cylindre, dans lequel le vaisseau était renfermé, avait 30 pieds de diamètre, et 30 de longueur. Il était formé par 4 cintres circulaires soutenus chacun par 36 rayons recouverts de madriers. Ces ceintres étaient renforcés par plusieurs croix de St.-André, et par plusieurs jambes de force qui arc-boutaient dans des directions opposées, et prévenaient toute espèce de dérangement. L'intérieur du vaisseau ayant été solidement étançonné, on enveloppa autour du cylindre, deux gros câbles dont les extrémités se rapportaient sur les cabestans de deux bâtimens ancrés au large. En virant les cabestans, on fit faire plusieurs tours au cylindre, jusqu'à ce qu'il fût entièrement à flot : alors il ne resta plus autre chose à faire que de le débarrasser de l'appareil qui l'entourait, et de le caréner à la manière ordinaire. Il est inutile d'avertir qu'on avait eu soin, avant de commencer l'opération, de boucher exactement les écoutilles, les sabords, et toutes les autres ouvertures par où l'eau aurait pu s'introduire.

287. On ne tire ordinairement à terre que les vaisseaux plats qui ne peuvent subir l'opération de la carène, tels que les galères, les galiotes, les pontons ou bien encore les bâtimens de moyenne grandeur que l'on veut mettre à l'abri sous les hangars. On ne tire à terre les grands vaisseaux et les frégates que pour les démolir, et cette opération ne se fait qu'après que toute leur partie supérieure en a été abattue. Dans plusieurs ports de mer, pour tirer à terre les vaisseaux, on les pose sur un *ber* construit à la partie inférieure de la cale; on fixe à ce *ber* la pièce X, fi-

gure 2 (planche III) qui contient dans sa longueur quatre moufles composés chacun de trois poulies assemblées dans des chapes faites dans l'épaisseur de la pièce : cette pièce est affermie sur des bandes où sont fixés des anneaux de fer. L'autre pièce est semblable, et est amarrée à la partie supérieure de lacale, à trois points fixes. On prend un câble et on amarre un des bouts à un des anneaux; ensuite on fait passer l'autre bout dans les moufles, et comme ils sont ici au nombre de quatre dans chaque pièce, l'on fixe aussi les quatre cabestans auxquels sont garnis les câbles. Deux autres cabestans servent à recevoir des cordages dirigés par des poulies; ces cordages sont pour entretenir toujours le berceau dans la même direction. La partie de la cale sur laquelle le berceau porte, doit être garnie de suif. Les choses étant ainsi préparées, on applique des hommes aux cabestans qui remontent le vaisseau. Dans cette opération, on ne saurait prendre trop de précautions pour bien affermir le vaisseau sur son berceau.

288. M. *de Lahire* avait imaginé une méthode ingénieuse de tirer à terre un vaisseau. Cette méthode, en apparence simple, serait cependant très-embarrassante et très-coûteuse si on devait la mettre en pratique. Il proposait de creuser deux canaux parallèles, un de chaque côté de la cale; d'y placer, de chaque côté du vaisseau, des bâtimens qui l'auraient soutenu au moyen de fortes pièces de bois passant par les sabords, et qu'on aurait appuyés sur un appareil de charpente placé sur ces bâtimens. A marée montante, on aurait fait entrer ces bâtimens dans les canaux latéraux, et le vaisseau se serait trouvé de cette manière à l'extrémité de la cale, où il aurait été épontillé; à marée basse, on aurait haussé l'appareil de charpente sur les bâtimens latéraux, de manière qu'ils pussent supporter de nouveau le vais-

seau : il est évident que tout ce système devrait s'élever à mesure que l'eau de la mer monte : ainsi, à marée haute, on pourrait faire avancer le vaisseau sur la cale, et en répétant plusieurs fois cette opération, on parviendrait enfin à le placer entièrement hors de l'eau.

CHAPITRE X.

Observations sur les théâtres mobiles de Caïus Curion.

289. PLINE le naturaliste, rapporte le fait suivant, (livre XXXVI) : « Scaurus, étant édile, fit un célèbre théâtre construit d'une manière digne, non pas d'un édifice de passage, mais d'un monument destiné à subsister éternellement. Cet édifice présentait trois étages de colonnes au nombre de 360. Le premier étage était de marbre, le second de verre, genre de luxe inouï jusqu'alors, et depuis ; l'étage supérieur, de bois doré. Les colonnes du bas avaient 38 pieds de haut, et il y avait partout, entre les colonnes, des statues dont le nombre total montait à trois mille. Cette vaste enceinte contenait un emplacement où pouvaient tenir 80,000 spectateurs. Le reste de l'appareil de ce théâtre était tel, en étoffes attaliques, en tableaux, en ornemens de scène, que ce qui en restait, en ayant été rapporté à sa maison de campagne, dans un mécontentement de ses esclaves, il en fut brûlé pour huit millions. Caïus Curion ayant à donner au peuple un spectacle faisant partie de la pompe funèbre de son père, voulait surpasser Scaurus par quelque chose d'extraordinaire, et faire plus qu'il n'avait fait. Caïus Curion eut donc besoin de mettre en jeu les ressources de l'invention pour y réus-

sir avec honneur (*a*). Il imagina de faire construire deux théâtres publics en bois, tous les deux fort spacieux, et il les fit suspendre et tourner en équilibre à part l'un de l'autre; chacun sur leurs pivots particuliers, tellement que le matin ces deux théâtres étaient séparés, et dans une position opposée l'une à l'autre, afin que d'une scène on ne pût entendre ce qui se déclamait sur l'autre; mais aux jeux de l'après-midi, les théâtres faisant une conversion sur eux-mêmes, se réunissaient pour former un amphithéâtre commun, transportant les spectateurs pour leur faire voir un combat de gladiateurs. Dans cet étrange spectacle qu'admirerons-nous de préférence? l'inventeur, ou l'invention? l'artiste, ou l'auteur du projet? celui qui ose exécuter une telle entreprise, ou celui qui l'a commandée? Mais c'est surtout le peuple dont la frénésie me surprend ici davantage, d'avoir osé prendre séance dans un siége aussi fragile. Voilà donc cette nation suprême, dominatrice et victorieuse des autres nations, qui régit les peuples et les royaumes, de qui les souverains reçoivent les couronnes, et qu'on prendrait sur la terre pour une portion de la divinité, suspendue dans une machine mobile, et applaudissant au risque même qu'on lui fait courir! Quel accident horrible à penser ne pouvait-il pas arriver! Qu'une ville soit engloutie par un tremblement de terre, cette calamité particulière plonge le reste des hommes dans l'affliction, et voici que le peuple romain, placé comme sur deux vaisseaux soutenus par deux pivots, s'expose à faire naufrage sur terre; le voilà se

(*a*) Theatra duo juxta fecit amplissima e ligno, cardinum singulorum versatili, suspensa libramento in quibus utriusque, antemeridiano ludorum spectaculo edito, inter sese aversis, ne invicem obstreperent scenæ, repentè circumactis ut contra starent, postremo jam die discedentibus tabulis et cornibus in se coeuntibus faciebat amphia theatrum, et gladiatorum spectacula edebat, ipsum magis auctoratum populum romanum circumferens.

regardant lui-même aux prises avec le plus affreux danger ; le voilà prêt à périr en un moment si la charpente vient à fléchir ou à se briser! »

290. Cette grande opération mécanique est si extraordinaire, qu'on pourrait refuser de croire qu'elle ait jamais été effectuée, si *Pline* nous l'eût racontée comme avenue dans un pays éloigné, et à une époque très-reculée ; mais c'est à Rome même, où il écrivait, et peu d'années auparavant, qu'il nous assure qu'elle eut lieu, on ne peut donc pas raisonnablement supposer que son récit soit fabuleux. *Pline* ne nous dit pas quelles étaient les dimensions des deux théâtres mobiles, ni quel était le nombre des spectateurs que chacun d'eux contenait. Il dit seulement qu'ils étaient très-grands (*amplissima*). Qu'il me soit permis de supposer par hypothèse, et pour fixer les idées, que la base de chacun des théâtres étant un demi-cercle, leur diamètre était de 350 pieds. Dans ce cas, les deux théâtres auraient pu contenir commodément dix à douze mille spectateurs, et le poids de chacun des deux en particulier, avec les six mille hommes qui pouvaient y être placés, aurait pu être égal à celui du rocher de Pétersbourg, ou bien encore à celui d'un grand vaisseau de ligne à trois ponts lorsqu'on le lance à la mer, c'est-à-dire approximativement à trois millions, en supposant que la charpente qui les composait eût une solidité suffisante, sans être cependant trop massive.

291. Avant de rechercher quels ont été les moyens qu'on a pu employer pour mettre en mouvement ces théâtres qui étaient séparés, et pour en former un seul amphithéâtre, il faut d'abord examiner quelle devait être la position des pivots, autour desquels ce mouvement devait s'opérer. On serait tenté de supposer qu'ils correspondaient aux centres de gravité, et que conséquemment les théâtres étaient comme suspendus en équilibre

sur ces pivots ; le texte même de Pline semble l'indiquer, mais, pour peu qu'on y réfléchisse, on reconnaîtra aisément qu'ils ne se pouvaient être placés de cette manière : voyez la figure 10 (planche XVIII) ; *a b* sont les bases demi-circulaires des théâtres : 1, 2, les positions des pivots au centre de gravité ; pour que les théâtres pussent tourner, il fallait nécessairement que la distance 1, 2, entre les pivots, fût au moins égale à la longueur des deux lignes 1 *m*, 2 *n*, de manière que, après avoir fait leur conversion, ils se seraient trouvés éloignés de plus de deux cents pieds, et ils n'auraient pu former l'amphithéâtre. Il fallait donc que les pivots se trouvassent placés hors du centre de gravité, et ils ne pouvaient l'être qu'à une des extrémités des diamètres pour remplir la condition recherchée, qui était de former, par la conversion des deux théâtres, un amphithéâtre parfait. En admettant cette dernière supposition, les pivots pouvaient être placés l'un à côté de l'autre, comme on le voit en 1 et 2, figure 8, où bien éloignés l'un de l'autre d'une distance égale à la longueur d'un diamètre, comme la figure 9 le démontre. La première de ces deux positions semble être la plus convenable.

292. Voyons maintenant de quelle manière on a dû opérer pour rendre mobiles ces théâtres, et quels sont les appareils mécaniques dont on a pu faire usage pour les mettre effectivement en mouvement. Il était nécessaire, avant la construction des théâtres, de former un plan extrêmement solide et exactement de niveau, qui renfermât tout l'espace sur lequel ils devaient se mouvoir. Le succès de l'opération dépendait principalement de la perfection de ce plan : ainsi, pour le former, on n'a dû négliger aucune des précautions que l'art enseigne : telles que de battre des pilotis, de former au-dessus de leurs têtes recepées de niveau, des radiers avec plusieurs lits de pièces de charpente

posées en long et en travers, et autres semblables dont on fait usage suivant la qualité du terrain. Ce plan devait être circulaire, comme l'indique *cdf*, figure 8. Ce même plan devait être recouvert de pièces de bois très-polies, placées sur des circonférences concentriques, dont le centre se trouverait dans l'endroit où les pivots seraient placés. Le dessous de chaque théâtre aurait dû être revêtu également de pièces de bois bien polies *yyyy*, mais placées suivant la direction des rayons qui seraient partis du pivot central. Cette position des pièces de bois aurait été très-utile pour diminuer considérablement les frottemens : car, pendant le mouvement, le fil de bois se serait recroisé toujours à angle droit, et nous savons, par les expériences de M. Coulomb, que le frottement, suivant le fil de bois, est plus fort d'un tiers.

293. Les pivots des théâtres mobiles ne pouvaient servir qu'à les empêcher de s'éloigner du centre durant leur révolution, et à les obliger de tourner autour simplement, et non pas à les soutenir. Les théâtres, lorsqu'ils étaient en repos, et lorsqu'ils se mouvaient, devaient être solidement soutenus dans toute l'étendue de leur base, par le plan dont nous avons parlé. Ce serait une absurdité évidente, qui répugnerait au bon sens, de vouloir supposer qu'il fussent soutenus en équilibre uniquement par ces pivots.

294. Recherchons maintenant, en retenant toujours les hypothèses que nous avons établies, quelle pouvait être la valeur de la force motrice que l'on a dû employer, et avec quelle espèce d'appareils mécaniques on pouvait l'obtenir plus facilement. Le lancement des gros vaisseaux à la mer nous prouve que, lorsque cette masse très-pesante glisse sur un plan couvert de pièces de bois polies et enduites de suif, sans aucun intermède, ni de rouleaux, ni de boulets, ni d'autres espèces de corps étrangers

posés entre le plan et les surfaces inférieures planes du berceau qui soutient le vaisseau, les frottemens ne sont alors que le quatorzième ou le seizième de la pression totale. Ainsi donc les frottemens de chacun des théâtres mobiles auraient produit une résistance d'à peu près deux cents milliers. Mais il faut réfléchir que le centre du mouvement se trouvant à l'extrémité du diamètre, la force motrice agissant à l'autre extrémité, et le centre de gravité, par où passe la résultante de la résistance, correspondant au milieu, la force motrice n'avait qu'à vaincre la moitié de la résistance totale, c'est-à-dire cent milliers (51). Quatre cabestans, combinés avec des moufles, auraient pu suffire pour mouvoir chacun des théâtres. Au commencement de l'opération, on aurait pu faire usage de quelques grands leviers, qui auraient puissamment contribués à imprimer le premier mouvement qui exige toujours un effort plus considérable. Il aurait été nécessaire, à mesure que les théâtres auraient changé de situation, de transporter d'un lieu à l'autre les cabestans: pour cet effet, il aurait fallu en employer un plus grand nombre, pour qu'il y en eût toujours quatre d'agissans, tandis qu'on aurait transporté les autres. Il fallait aussi qu'on eût planté dans la partie extérieure du plan, des pieux de distance en distance, où l'on eût amarré solidement les cabestans.

295. L'opération de réunir les deux théâtres ne pouvait être que lente : je suppose donc que, par des rideaux, on eût caché aux spectateurs la vue des appareils mécaniques, et que, durant l'opération, on eût eu soin de les distraire par des danses ou des pantomimes exécutées dans l'orchestre. De cette manière, il est certain que le mouvement étant extrêmement lent, les objets extérieurs étant cachés à la vue des spectateurs, ne pouvant y avoir aucune secousse, puisque nous avons supposé

qu'on avait préparé le plan sur lequel le mouvement devait s'opérer, de manière qu'il fût parfaitement nivelé et poli, les spectateurs ne pouvaient s'apercevoir de ce mouvement qu'au moment où, l'amphithéâtre étant formé, on aurait levé les rideaux.

296. Il est également certain que, si on n'avait négligé aucune des précautions nécessaires dans une semblable opération, les théâtres mobiles ne présentaient pas plus de danger qu'un autre théâtre ordinaire en charpente. L'ordonnateur, l'inventeur de ce spectacle extraordinaire, et surtout le peuple romain qui y prit part, ne méritaient donc pas les violens reproches que Pline leur adresse. Mais il faut avouer cependant que c'était une espèce de folie, que l'emploi d'une somme ausi énorme, dont on aurait pu faire un usage bien plus utile, pour un spectacle qui ne devait durer que quelques momens, et qui ne laissait aucune trace de son existence.

LIVRE TROISIÈME.

Du levage vertical et oblique des fardeaux.

297. POUR transporter des fardeaux sur des plans horizontaux ou inclinés, l'agent moteur ne doit employer qu'une force bien inférieure à leur poids total; la valeur de cette force n'en est moyennement que la quatorzième ou la seizième partie, et souvent même elle est encore moindre : il n'en est pas ainsi lorsqu'il faut élever ces mêmes fardeaux; la force requise, pour effectuer cette opération, loin d'avoir une valeur plus petite que celle de leur poids, est toujours au contraire plus considérable : car, non-seulement il faut surmonter la force de gravité du corps à élever qui en constitue le poids, mais il faut encore vaincre les frottemens des machines qu'on emploie dans cette opération, et la roideur des cordes auxquelles les fardeaux sont suspendus. Il y a une autre différence essentielle, qui caractérise le levage des fardeaux, et qui le distingue d'avec le transport; c'est que celui-là exige indispensablement un point de suspension plus élevé que le lieu où l'on doit faire parvenir ces mêmes fardeaux. L'établissement de ce point de suspension demande un appareil de charpente qui varie suivant les différens cas. Nous ferons d'abord précéder la description des principales espèces d'appareils de ce genre, et ensuite nous examinerons les méthodes à employer pour élever les différens fardeaux.

CHAPITRE PREMIER.

Des écoperches, bigues, chèvres et des échafaudages pour élever les fardeaux.

298. La manière la plus simple d'établir un point d'appui élevé, est de dresser verticalement une pièce de bois, que l'on affermit dans cette situation, par le moyen de quatre cordes liées par un des bouts au sommet de la pièce de bois, et par l'autre bout arrêtées à des points fixes : (voyez fig. 1, pl. IX). Cet appareil est désigné par le nom d'*écoperche ;* on s'en sert communément pour élever des fardeaux médiocres à une hauteur peu considérable ; mais les anciens, suivant le témoignage de Vitruve, en firent usage pour de plus grands fardeaux ; présentement même, les Italiens emploient fréquemment cet appareil si simple qui leur fait épargner de grands frais d'échafaudage. Toutes les statues qui décorent la colonnade de la magnifique place de Saint-Pierre, à Rome, placées à plus de 50 pieds au-dessus du sol de la place, et qui ont 8 à 9 pieds de hauteur, furent élevées avec ce seul appareil et sans aucune espèce de charpente ; nous décrirons plus particulièrement cette opération (375). On transporte les écoperches d'un lieu à l'autre, en plaçant le bout inférieur sur une espèce de traîneau, sous lequel on introduit des rouleaux ; lorsqu'on doit les fixer, on substitue des pièces de bois plates aux rouleaux. Si les écoperches doivent avoir une longueur considérable, on les forme de plusieurs pièces en bois que l'on ente solidement les unes au-dessus des autres. Quelquefois, lorsqu'on doit élever des poids très-pesans, on réunit en faisceau deux ou quatre pièces de bois, ayant soin de ne pas les tenir de la même longueur ; au bout de celles-ci, on en pose d'au-

tres pour donner à l'écoperche la longueur requise ; toutes ces pièces sont enveloppées et serrées fortement avec de bonnes cordes dans les endroits où correspond l'union en longueur des différentes pièces ; et elles sont affermies, en outre, par des boulons et des bandages en fer : pour aubaner les grandes écoperches, c'est-à-dire, pour les retenir de manière qu'elles ne puissent ni se mouvoir, ni s'incliner, qu'autant qu'on le voudra, de simples cordes ne suffiraient point. On se sert alors de quatre ou de cinq palans. On peut aisément faire incliner les écoperches de tous les côtés, et autant qu'on le désire : il suffit, pour cela, de tirer d'un côté les haubans qui les soutiennent, et de lâcher en même temps ceux du côté opposé. Cet appareil très-utile, qui mérite d'être employé plus fréquemment qu'il ne le fut jusqu'à présent à Paris, demande cependant, de la part des ouvriers qui s'en servent, beaucoup d'intelligence.

299. Dans les ports de mer, on fait un très-grand usage d'un autre appareil, que l'on appelle *bigue*, qui est composée de deux pièces de bois inclinées, réunies ensemble à leur sommet, et écartées dans leur partie inférieure. (Voyez fig. 2 et 7, planche XVII). On fait des bigues depuis la hauteur de 4 mètres, jusqu'à 30 mètres. Les grandes machines à mâter, comme celle de Toulon, qui ne sont en effet que des énormes bigues, ont 44 mètres de hauteur. Les bigues sont formées de deux mâts ou mâtereaux, se croisant en croix de Saint-André à leur extrémité supérieure, où ils sont fortement liés par un amarrage appelé *portugaise*. Pour dresser une grande bigue, il faut d'abord en former une plus petite, qui ait à peu près la moitié de sa hauteur; et, au moyen des palans placés à son sommet, on dresse chacun des deux mâts; mais ordinairement, dans les ports de mer où les bras ne manquent pas, on épargne cette appareil secondaire, et on se sert de la méthode suivante, pour mâter et dresser ces bigues. On saisit

d'abord leurs pieds, et on les lie à des points fixes, de manière qu'ils ne puissent reculer; on élève leur tête un peu au-dessus du terrain; on y attache des palans, qui sont, d'un autre côté, amarrés sur des corps-morts inébranlables, à une bonne distance de l'avant des pieds; on les élève à force de bras, que l'on applique aux câbles des palans. Tant que la tête est peu élevée au-dessus du terrain, ou que ces bigues font un angle fort aigu avec un plan horizontal, on sent que l'effort doit être très-considérable; car, dans la décomposition de cette force, ce n'est qu'une très-petite partie qui sert à élever; la plus grande tend à faire marcher les bigues de l'arrière à l'avant et agit sur les retenues qu'on a établies pour empêcher ce mouvement; mais, à mesure que la tête s'élève, ou que les bigues font un angle plus grand avec le sol, l'opération devient plus facile; en sorte que, si l'on n'était pas assez fort pour donner, de cette manière, les premiers degrés d'élévation, il faudrait élever d'abord un petit mât vers la tête des bigues, qui, ayant à la sienne un palan, servirait à les élever d'autant plus qu'il serait plus long.

300. On doit établir, au bas de la bigue, une traverse de bois ou bien un cordage à plusieurs doubles, qui en empêche l'écartement. On amarre un ou plusieurs palans à son sommet, et on attache à ses pieds des poulies de renvoi. Chacun des pieds est placé dans une entaille pratiquée dans un morceau de chêne d'un mètre environ sur 3 décimètres de largeur et 3 décimètres de hauteur. Il doit être un peu arrondi dans sa partie inférieure; on le place dans une espèce de coulisse suifée, faite avec un fort madrier garni de deux bords, un de chaque côté; par ce moyen on peut facilement faire avancer la bigue d'un lieu à l'autre à l'aide de quelques leviers ou bien avec un palan. Les bigues comme les écoperches doivent être affermies par plu-

sieurs haubans formés avec des câbles ou même avec des palans. Lorsqu'il s'agit de faire des efforts considérables, ces haubans partent du sommet de la bigue et quelques autres sont appliqués quelquefois sur chaque mât, aux deux tiers à peu près de sa hauteur. En tirant quelques-uns des haubans et en lâchant en même temps les autres, nous avons vu que l'on pouvait faire incliner une écoperche d'un côté quelconque; on peut également faire incliner une bigue, mais seulement sur l'avant et sur l'arrière. Une seule forte bigue garnie de plusieurs palans élève des fardeaux très-considérables. Dans les arsenaux de marine, on place l'arcasse des grands vaisseaux par ce moyen; l'*arcasse* est un assemblage de pièces de bois du poids de 16 à 25 mille kilogrammes. Dans les ports de mer où il n'y a point de machines à mâter, les grands mâts dont les plus forts pèsent plus de 10 mille kilogrammes, se placent aussi au moyen d'une grande bigue, qu'on dresse sur le pont. Mais dans les ports de mer, on peut se procurer des pièces de bois d'une dimension assez grande pour former de semblables bigues. Partout ailleurs on se sert de chèvres qui en tiennent lieu et qui sont aussi des espèces de bigues, mais moins fortes et de moindre dimension. Il est rare de voir des chèvres dont la hauteur excède 14 mètres, et qui élèvent des poids plus forts que de 2 ou 3 mille kilog. Les charpentiers et les maçons font un très-grand usage des chèvres dans l'érection des bâtimens. C'est au moyen d'une chèvre que les canonniers placent les canons sur leurs affûts. C'est aussi avec une chèvre que les scieurs de long, dans les arsenaux de marine, placent les grosses pièces de bois sur les chevalets. C'est enfin la chèvre qu'on emploie presque toujours de préférence pour élever des fardeaux quelconques à une médiocre hauteur. Il y a deux espèces de chèvres. La première, représentée par la figure 2 (planche VIII), n'est formée que

de deux pièces de bois qui se touchent à leur sommet et qui, étant écartées par le bas, forment un triangle isocèle. Ces pièces de bois sont unies entre elles par des traverses parallèles, placées à la distance d'un mètre à peu près l'une de l'autre. Ces traverses, que l'on nomme *épars*, ont un tenon à chacun de leur bout, et chaque tenon entre dans une mortaise correspondante, creusée dans une des deux grandes pièces latérales qui forment la chèvre. Ces tenons sortent d'une certaine longueur hors de leurs mortaises, de manière qu'on peut les traverser par une clavette. Toutes les chèvres sont ordinairement garnies d'un moulinet. La seconde espèce se distingue par son pied; on nomme *pied de la chèvre* une pièce de bois de la même longueur à peu près que chacune des pièces latérales inclinées; elle part du sommet, où elle est retenue par un boulon qui lui laisse la faculté de s'éloigner ou de se rapprocher plus ou moins de la base de la chèvre. La chèvre avec son pied forme une espèce de pyramide triangulaire. (Voyez figure 2, planche IX). Ce pied ne s'adapte ordinairement qu'aux chèvres de petites dimensions. Les chèvres décrites par *Vitruve*, dans son dixième livre, sont de cette seconde espèce; il dit que l'on s'en servait pour la construction des temples et pour les autres édifices publics. « Elles se font, dit-il, de cette manière. On dresse trois pièces de bois proportionnées à la pesanteur des fardeaux que l'on veut élever; elles sont jointes par en haut avec une cheville et écartées par en bas. (Voyez figure 2, planche IX) Le haut est attaché et retenu des deux côtés par des haubans; on y place un moufle dans lequel sont insérées deux poulies qui tournent sur leur goujon. Le câble qui doit tirer, ayant été passé sur la poulie d'en haut, on le fait passer ensuite sur une autre poulie qui est dans le moufle inférieur; ensuite on le fait passer sur la poulie qui est au bas du

moufle supérieur, et on fait encore descendre la corde pour en attacher le bout au trou qui est au moufle inférieur; l'autre bout de la corde descend en bas vers l'endroit où les grandes pièces de bois équarries se retirent en arrière en s'écartant, et auxquelles sont attachés les coussinets qui reçoivent les deux bouts du moulinet, afin qu'il puisse tourner aisément. Le moulinet, vers chacun de ses bouts, a deux trous disposés en sorte que l'on y puisse passer des leviers. On attache à la partie inférieure du moufle le fardeau qu'on doit soulever. Si le poids et la grandeur des fardeaux à élever sont considérables, au lieu de se servir d'un simple moulinet, on fait usage d'un treuil garni d'une roue. Il faudra aussi que les moufles soient d'une autre façon; car le supérieur de même que l'inférieur doivent avoir deux rangs de poulies; et il faut que le câble soit passé dans le trou du moufle inférieur, en sorte que ses deux bouts soient égaux, quand il sera étendu, et que par son milieu qui est dans le trou de ce moufle, il y soit bien attaché avec une petite corde, pour qu'il ne puisse glisser ni d'un côté ni d'autre. Cela étant ainsi, il faut passer les deux bouts du câble dans le moufle supérieur par la partie extérieure, et sur les poulies basses, pour redescendre et repasser sous les poulies du moufle inférieur par la partie intérieure, et ensuite retourner encore à droite et à gauche pour passer sur les poulies qui sont au haut du moufle supérieur, d'où ils redescendent des deux côtés de la roue à tambour pour s'attacher à son essieu. Outre ce câble, il y en a un autre qui, de la roue autour de laquelle il est entortillé, va à un vindas qui, étant bandé et faisant tourner la roue, tire également les câbles qui sont autour de son essieu, et ainsi lève insensiblement les fardeaux sans danger. Cela se fera encore plus aisément, si l'on veut faire la roue fort grande; car, sans se servir de vindas, on pourra la tourner en faisant mar-

cher des hommes dedans ou en les faisant agir sur des chevilles placées sur sa circonférence. » *Vitruve* indique aussi comment on dressait les grandes chèvres. (Voyez fig. 3, pl. VIII.) On plantait d'abord trois pieux ; les deux E E servaient pour y attacher les jambes de la chèvre ; le troisième A servait pour y lier le moufle inférieur, tandis que le supérieur était attaché au haut de la chèvre ; ensuite on attachait la partie inférieure du câble au pieu A, et, l'ayant fait passer sur les différentes poulies, on le faisait descendre vers le moulinet, et on l'y attachait. Le tout étant ainsi disposé, si on faisait tourner le moulinet, la chèvre devait s'élever elle-même sans aucun danger, parce que, au moyen des haubans qu'on disposait en divers lieux sur la chèvre et qui étaient attachés à des pieux, elle était fortement arrêtée.

301. On donne le nom de *chèvre écartée* à un appareil de charpente disposé comme les figures 3 et 4 (planche XVIII) le démontrent. On voit clairement qu'elle est composée de deux montans *a a* placés verticalement, qui supportent une pièce horizontale *b b* ; chacun des montans est soutenu par trois contre-fiches *c c c*. Cet appareil sert particulièrement pour élever des statues et les placer sur leurs piédestaux. On peut le transporter avec facilité d'un lieu à un autre.

302. Les écoperches, les bigues et les chèvres ne peuvent pas suffire pour élever toute espèce de fardeau ; il y en a un grand nombre dont le volume et le poids sont tels qu'ils exigent des échafaudages bien plus compliqués. Nous allons décrire l'échafaudage dont se servit *Domenico Fontana*, pour ériger le grand obélisque de la place de Saint-Pierre à Rome. Ceux qu'on employa pour les autres obélisques étaient construits de la même manière, ainsi que celui avec lequel, en 1705, on déplaça la colonne Antonine et celui dont on fit pareillement

usage pour ôter et remettre une colonne du portique du Panthéon, lorsqu'on le restaura. (Voyez les fig. 1, 2 et 3, pl. XIII.) Cet échafaudage devait être assez fort pour supporter le poids d'une masse de près de 400 mille kilogrammes, l'effort nécessaire pour la soulever, et les ébranlemens inévitables qui devaient avoir lieu pendant l'opération. Il devait laisser un espace entièrement libre, assez grand pour que l'obélisque, qui avait 24 mèt. de hauteur, pût se mouvoir dans son intérieur sans empêchement. L'échafaudage était composé de huit colonnes, quatre d'un côté et quatre de l'autre, éloignées entre elles d'un mèt. 2 décim.; chacune de ces colonnes était formée par la réunion de quatre poutres de 6 décim. d'équarrissage; ces poutres étaient unies entre elles de la manière suivante : d'abord elles avaient des longueurs inégales, pour que les unions de celles qui étaient placées les unes sur les autres, fussent éloignées entre elles. Ces poutres étaient traversées sur toutes les faces par des boulons de fer à clavettes, qu'on plaça à trois mètres de distance l'un de l'autre. Entre les boulons et à un pareil écartement de trois mètres, on plaça des frettes de fer qui environnaient et serraient les quatre poutres qui formaient la grosseur de chaque colonne; des coins de bois furent frappés dans plusieurs endroits entre ces frettes et les poutres, pour qu'elles fussent plus fortement comprimées. Entre les frettes et les boulons, on fit, avec de fortes cordes, des ligatures qui environnaient les colonnes. Ces ligatures étaient éloignées de trois mètres l'une de l'autre; les colonnes ainsi construites avaient 28 mètres de hauteur et un mètre en carré de grosseur. Les huit colonnes susdites soutenaient un châssis très-fort auquel furent amarrés les moufles dont on devait se servir. Chaque colonne était soutenue latéralement par quatre contre-fiches *m m m m* qui les contre-buttaient. Une infinité de croix de Saint-André, de jambes de force et autres pièces de

charpente disposées comme les figures 1 et 2 l'indiquent, affermissaient cet échafaudage d'une manière inébranlable; néanmoins on avait encore, par excès de précaution, placé plusieurs haubans à son sommet.

303. L'échafaudage que nous venons de décrire, est un des plus forts dont on puisse avoir occasion de se servir. Une semblable occasion ne peut même se présenter que très-rarement. Nous allons maintenant faire connaître celui qu'on employa pour ériger la statue équestre de bronze, qui existait avant la révolution sur la place Louis XV. Il faut se rappeler que cette statue, par elle-même, pesait 55 milliers, et, avec tous les appareils dont elle était environnée, pesait à peu près 60 milliers. (Voyez fig. 2 et 3, planche XIV.) Avant que de travailler à l'établissement de cet échafaudage, on construisit, autour du piédestal destiné à recevoir la statue équestre, et, dans toutes les places où devaient se trouver par la suite des poteaux-corniers et des contre-fiches ou arcs-boutans, une fondation ou massif de maçonnerie en moellons et en pierres, qui, suffisamment profonde, sortait de terre d'environ 7 décimètres, et formait un cours d'assise absolument de niveau. Cet embasement ayant pris consistance, on y établit, sur chacun des flancs, à la distance de 6 mètres, et dans une longueur d'environ 20 mèt., un premier rang de sablières de bois de chêne, de 6 décimètres d'équarrissage : puis, transversalement dans le milieu, en ligne parallèle avec la face d'un des petits côtés du piédestal, l'on coucha de pareilles sablières; celles-ci, composées chacune de trois pièces, assemblées au bout l'une de l'autre, s'étendaient jusqu'à la longueur de 16 mètres, afin de pouvoir élever sur ce qui excédait les sablières des côtés, les contre-fiches ou arcs-boutans destinés, comme on le verra dans la suite, à tenir en état la charpente de l'échafaud et l'empêcher de verser. L'échafaud, pris par le

plan, avait la forme d'un parallélipipède rectangle, long du double de la largeur. L'assiette en ayant été rendue solide, on dressa, aux quatre encoignures, et au droit de toutes les sablières, qui, à l'effet de recevoir des contre-fiches, saillaient en dehors ainsi que dans le milieu de la travée qui regardait le jardin des Tuileries, autant de poteaux-corniers, qui tous, élevés à plomb dans un sens, s'inclinaient en dedans de 7 décimètres environ sur la hauteur, laquelle était de 6 mètres. On en comptait onze. Ils avaient 4 décimètres d'équarrissage, étaient emmanchés à tenons et mortaises, et retenus par le pied sur le rang des sablières inférieures, et se joignaient par la tête, à un second rang de sablières de 5 décimètres d'équarrissage. Placé à peu près à la moitié de la hauteur, que devait avoir l'échafaud, il en parcourait toutes les quatre faces; une pièce de bois le traversait dans le milieu, et suivait la même direction qu'une pareille traverse qu'on y avait mise par le bas, et dans les endroits, où les sablières inférieures saillaient en dehors, les secondes portaient pareillement une saillie, mais seulement de 2 mètres 4 décimètres, ce qui étaient suffisant pour y établir les contre-fiches du second étage. Le second rang de sablières reçut de nouveaux poteaux-corniers hauts d'environ 6 mètres, qui, dans le même nombre, la même force, et la même disposition que ceux d'en-bas, furent mis inclinés en dedans, ainsi qu'il avait été pratiqué à l'étage inférieur; de sorte que, par cet arrangement, les troisièmes et dernières sablières se trouvaient à la hauteur de 14 mètres, et n'étaient écartées l'une de l'autre, dans le sens de la largeur de l'échafaud, que de 4 mètres. L'on comprend aisément, qu'une charpente qui se dirigait ainsi de droite et de gauche vers un centre commun, devait acquérir une solidité inébranlable, que fortifiaient encore les diverses pièces de décharge qu'on y ajouta en différens endroits. On mit, dans chacun des

intervalles que laissaient entre eux les poteaux-corniers, sur les deux parties latérales de l'échafaud, tant au premier qu'au second étage, deux pièces de bois de remplage de 2 décimètres d'équarrissage, qui, montant à la même hauteur que les poteaux-corniers, étaient posés obliquement, les unes de droite, et les autres de gauche, contre le poteau-cornier du milieu: pour mieux retenir encore l'écart de l'échafaud dans sa longueur, on appliqua en dehors sur lesdites faces latérales, deux liernes composées de deux pièces de bois chacune, entées au bout l'une de l'autre, qui, partant du pied du poteau-cornier du milieu, allaient en ligne diagonale gagner la tête de chaque poteau-cornier des encoignures; et, dans tous les endroits, où elles rencontraient des pièces de bois, elles y étaient attachées avec des boulons de fer. Enfin, pour achever d'affermir l'échafaud, et l'empêcher de vaciller dans aucun sens, l'on dressa, sur toutes les extrémités saillantes des sablières, des contre-fiches faisant l'office d'arcs-boutans; elles étaient au nombre de douze, six desquelles étaient d'une seule pièce de bois de brin; elles s'élevaient à environ 12 mètres de hauteur, où elles s'emmanchaient à tenon et mortaise dans le haut d'un poteau-cornier. Les six autres étaient de deux pièces, dont la première, appuyée par le pied, et retenue à tenon et mortaise sur la sablière, à 3 mètres de distance du poteau-cornier, se logeait dans le haut, sous la sablière du second étage, éloignée du même poteau, de un mètre seulement; et de cette distance partait de dessus la seconde sablière, la deuxième partie de la contre-fiche qui allait, en s'inclinant, s'appuyer contre le poteau-cornier du second étage.

CHAPITRE II.

Moyens d'élever obliquement les fardeaux. Description des g

304. Les fardeaux qu'on doit élever, ne peuvent souve
venir à l'endroit où ils doivent être déposés, s'ils suive
jours dans leur mouvement une seule et même ligne ver
ils sont presque toujours obligés de s'en éloigner plus ou
C'est ainsi que quand on veut placer une statue sur son
tal, ce même piédestal empêche qu'avant de l'élever, on
la disposer dans une situation où elle corresponde vertical
à l'emplacement qu'elle doit ensuite occuper sur le piéde
faut donc nécessairement qu'on lui communique deux n
mens, l'un d'élevation verticale, l'autre de translation ho
tale. Dans une infinité d'autres cas, le concours de ces deu
vemens est indispensable. On peut les combiner ensembl
qu'il en résulte un mouvement oblique correspondant, o
les produire séparément l'un après l'autre.

305. Pour effectuer le mouvement mixte d'élévation et de
lation, dont nous venons de parler, on connaît trois mét
principales, auxquelles toutes les autres se rapportent. La
mière est de disposer deux points élevés et inébranlables,
que fois même plusieurs; et, à chacun d'eux, d'amarrer le
fle supérieur d'un palan dont l'autre moufle est lié au fa
il est évident que, par cette disposition, si l'on tire égale
les câbles des deux palans, le fardeau s'élevera sans se ra
cher davantage d'un point de suspension que de l'autre,
direction sera constamment celle de la verticale, qui pa
milieu de la ligne qui réunit les points de suspension; mais
des câbles est tiré avec plus de force, le fardeau s'éloigner

cessairement de cette verticale en se rapprochant du point de suspension, qui appartient au palan dont le câble est plus vigoureusement tiré : (voyez figure 3, planche XV) ; *a*, soit le fardeau ; *m* et *p*, les points de suspension ; *m n* et *p q*, les directions des deux palans qui soutiennent le fardeau ; *r s*, la verticale qui part du milieu de la ligne *m p*, qui réunit les deux points *m* et *p* ; *m y* et *p x*, deux autres verticales qui partent de ces mêmes points, et qui indiquent aussi la direction de la force des moteurs appliqués aux palans. Si d'abord le moteur, qui agit en *x*, tire avec une égale force et une égale vitesse que celui en *y*, il ne peut y avoir aucune cause qui sollicite le fardeau à sortir de la verticale *r s*. Il n'en est pas ainsi dans le cas où celui en *x* tire avec plus de vitesse ; il faudra nécessairement alors que le fardeau se rapproche de la ligne *p x*, et d'autant plus que la différence des vitesses déployées par les deux moteurs, sera plus grande. Ainsi donc, on pourra agir sur les palans, de manière à faire parvenir le fardeau à un point déterminé quelconque, qui corresponde néanmoins à un de ceux qui se trouvent dans la ligne *m p*, qui passe par les deux points de suspension. De la même manière, si l'on a trois points de suspension, et des palans attachés d'un côté à chacun d'eux, et de l'autre au fardeau, et qu'on suppose que des lignes droites réunissent ces trois points, on pourra faire parvenir le fardeau à un endroit quelconque, correspondant verticalement à un point pris dans l'intérieur du triangle formé par les lignes susdites. En général, si l'on a un nombre quelconque de points de suspension, il sera toujours facile, par la même méthode, de diriger le fardeau comme on le croira convenable, pourvu que ce soit vers un des points qui correspond à un de ceux contenus dans le polygone.

306. Si on doit élever un fardeau qui ait une longueur considérable, et qu'il faille en même temps le disposer dans une posi-

tion oblique quelconque, on pourra, avec une méthode analogue à celle que nous venons d'exposer, obtenir ce double effet, en se servant de deux palans, dont les moufles supérieurs seront attachés à un même point de suspension, et les inférieurs, écartés l'un de l'autre, seront attachés au fardeau. (Voyez fig. 4, planche XV.) *A*, soit le point de suspension; *p q*, le fardeau à élever; *A p* et *A q*, les directions des deux palans, *x* et *y*, les points où les moteurs agissent. On conçoit aisément que, si ces moteurs ne tirent pas également, le fardeau, en s'élevant, cessera de conserver sa position horizontale suivant la longueur, et il deviendra d'autant plus oblique, que l'un des moteurs tirera plus vigoureusement que l'autre. Il ne sera donc pas difficile de faire prendre au fardeau le degré d'obliquité que l'on jugera convenable. En se servant de trois ou de quatre palans réunis au point de suspension, mais écartés dans les endroits où on les attachera au fardeau, on pourra faire incliner plus ou moins ce fardeau, non-seulement dans le sens de sa longueur, mais aussi dans tous les autres sens.

307. Dans un grand nombre d'opérations, il faut en même temps faire parvenir le fardeau à un point qui ne corresponde pas verticalement à celui où il se trouve au commencement de son élévation, et il faut encore lui faire prendre une position déterminée plus ou moins oblique. On obtient ces deux effets, en se servant en même temps des deux moyens que nous avons indiqués; c'est-à-dire premièrement en disposant deux, ou un plus grand nombre de points de suspension, à chacun desquels on attache le moufle supérieur d'un palan, dont l'autre moufle est lié au fardeau; secondement, en suspendant à un seul point les moufles supérieurs de deux ou de plusieurs autres palans, dont les inférieurs sont attachés à différens points du fardeau, écartés les uns des autres. C'est ainsi que l'on opère dans les arsenaux

de marine, quand on doit placer les couples qui forment la carcasse d'un vaisseau. Plusieurs bigues sont disposées de chaque côté du vaisseau en construction; des palans sont attachés aux sommets de ces bigues, et leurs moufles inférieurs se réunissent pour suspendre la pièce de bois qu'on doit placer, et la diriger vers le point où elle doit être déposée. D'un autre côté, d'autres palans sont réunis au sommet d'une même bigue; ils suspendent aussi la même pièce, mais dans des points éloignés, de manière qu'ils peuvent lui faire prendre le degré d'obliquité qui lui convient le mieux.

308. La seconde méthode de faire parvenir un fardeau à un point qui ne correspond pas verticalement à celui où il se trouve au commencement de son élévation, est de produire séparément les deux mouvemens d'élévation et de translation horizontale. A cet effet, le point de suspension auquel sont liés les palans qui doivent soutenir et élever le fardeau, n'est pas fixe; mais il est porté par une espèce de petit chariot que l'on peut faire avancer et reculer à volonté sur un châssis horizontal où il est posé. Cette méthode a été mise en pratique dans la grue établie sur le bord de la Seine, à Paris entre les Invalides et l'École Militaire, que nous décrirons bientôt.

309. Dans la troisième et dernière méthode, comme dans la seconde, le point de suspension est mobile, mais avec cette différence que, dans celle-ci, en se mouvant, il suit la courbure d'un cercle, et dans l'autre, il se meut en ligne directe. Nous nommerons *grues tournantes*, les appareils de charpente qui sont disposés de manière à pouvoir présenter un point de suspension tournant. Il y en a de deux sortes, grues à axe tournant, et grues à poinçon. Les grues à axe tournant sont très-simples. Elles ont la forme d'un triangle rectangle renversé, soutenu verticalement par deux pivots sur lesquels elles peu-

vent tourner. (Voyez figure 4 planche VIII.) Mais ces sortes de grues exigent d'être placées le long d'un mur très-solide, où l'on puisse établir avec sûreté les supports des pivots ; ou bien ils exigent une charpente secondaire qui en tienne lieu, et qui soit inébranlable comme le mur.

310. Les grues à poinçon sont bien plus compliquées. On en distingue de deux espèces : 1°. les grues ordinaires qu'on emploie dans la construction des édifices, et qu'on peut transporter d'un lieu à un autre ; 2°. les grues à poinçon fixe, qui doivent toujours servir dans la même place : telles sont les grues qu'on établit sur les ports pour charger et décharger les bateaux. Chacune de ces deux principales espèces de grues se subdivise en plusieurs variétés secondaires.

311. Une grue de la première espèce est un assemblage de charpente, qu'on emploie dans la construction des grands édifices pour élever les pierres et les autres matériaux, et pour les transporter et déposer ensuite dans l'endroit où ils doivent être placés. Pour que la grue soit capable de produire le double effet d'élever et de transporter horizontalement les fardeaux à une certaine distance, il faut qu'elle soit composée d'une partie immobile solide qui puisse soutenir et servir d'axe de rotation à une autre portion de la grue qui doit être tournante. figure 1 (planche VIII.) La pièce principale de la partie immobile est un gros arbre ou colonne *a* placé verticalement, et qu'on nomme *poinçon*. Cet arbre est entouré de 4 pièces de bois *b b* qui se croisent, lesquelles sont liées et assemblées avec quatre entretoises. Ces quatre pièces qui se croisent se nomment *embrassures empâtemens*, ou *rasinaux;* elles servent de base à toute la grue. Huit bras appelés *liens en contre-fiche d d d*, assemblés par en haut contre l'arbre ou poinçon *a*, servent à le contenir. Ainsi donc, la partie immobile d'une grue est composée, 1° d'un

poinçon ; 2°. de 4 pièces de bois qui se croisent, et qu'on nomme *embrassures* ; 3°. de 4 entretoises placées entre les embrassures pour les contenir ; 4°. de 8 liens en contre-fiche, qui servent à arc-bouter le poinçon et à l'empêcher de s'incliner en aucune manière. La partie mobile est aussi composée de plusieurs pièces, dont la plus importante s'appelle la *volée* ou *l'échelier*, ou encore le *rancher*. C'est un long arbre *f f f* posé obliquement sur le poinçon ; il est affermi par les écharpes *g g g*, que différentes moises retiennent et lient ensemble. Chacune de ces moises *m m m m* est formée de deux pièces qui se rapprochent et qui sont réunies par plusieurs boulons et clavettes ; elles sont entaillées en plusieurs endroits, tantôt en rond, pour former le trou qui reçoit le poinçon, tantôt en carré et obliquement, pour embrasser la *volée* et les deux écharpes. La volée est posée sur un pivot de fer dont le bout du poinçon est armé. Il y a deux pièces *p p* que l'on nomme *soupentes* ou *aiguilles pendantes*, qui sont attachées à la grande moise d'en bas et à la volée ; elles servent à porter en l'air et à suspendre la roue *x x*, ainsi que son treuil autour duquel se dévide le câble ou cordage qui passe dans les poulies enclavées au bout des moises et à l'extrémité de la *volée*, lequel ainsi que la roue doit être garni de chevilles, pour pouvoir monter jusqu'au haut. On conçoit aisément, à la seule inspection de la figure que la *volée*, les *moises*, les *écharpes*, les *soupentes*, le treuil avec sa roue, tournent librement sur la partie immobile qui leur sert tout à la fois et de support et d'axe de rotation.

312. Voici le détail des bois et des fers employés à la construction d'une grue ; extrait des *œuvres de M. Perronnet.*

Indication des lettres correspondantes à la fig. 1, pl. VIII.	NOMS DES PIÈCES.	LONGUEUR.		GROSSEUR.		Cubature exprimée en solives de 4 pieds cubes.			
		Pieds.	Pouc.	Pouces.		Soliv.	Pieds.	Pou.	Lig.
b	4 racinaux ou croisillons d'empâtement.	20	1	10 à	10	18	4	6	»
—	4 entretoises, chacune de	1	8	9	10	1	2	2	»
a	1 poinçon.	26	6	16	16	15	4	2	8
d	8 liens du pied, chacun de	15	»	7	7	13	3	8	»
m'	1 grande moise.	21	6	8	30	11	5	8	»
m''	1 seconde moise.	13	6	6	28	5	1	6	»
p'	1 grande aiguille pendante.	15	9	7	12	3	7	4	6
p	1 petite aiguille pendante.	9	6	7	12	1	5	1.	»
q'	1 lien de la grande aiguille.	6	9	6	7	»	3	11	3
q	1 lien pour la petite aiguille.	5	8	6	7	»	3	3	8
r	le treuil.	9	6	11	11	2	3	11	7
x	circonférence réduite de la roue à tambour, le diam. étant de 11 pieds 9 pou.	36	11 2	3	4	1	»	1	10
	4 grands bras de la roue, chacun de. .	12	»	3	4	1	2	»	»
	4 petits bras de la roue, chacun de. .	3	4	3	4	»	2	2	8
	4 goussets de la roue, chacun de . . .	3	7	3	4	»	2	4	6
	4 entretoises, chacune de	1	2	3	4	»	»	9	6
ff	première partie de la volée.	43	4	11	11	12	»	9	11
ff	deuxième partie de la volée	18	3	10 6	10 6	4	3	11	4
g'	premier lien de la volée.	24	6	8	8	3	3	9	4
g''	petit lien de la volée.	24	6	7	7	2	4	8	1
m	troisième moise.	9	»	6	28	3	3	»	»
m	quatrième moise.	5	10	6	28	2	1	7	4
m	cinquième moise.	5	10	6	28	2	1	7	4
m	sixième moise.	2	6	6	28	»	5	10	»
	Total des bois, solives.					110	5	2	6

Détail des fers.

	Livres.
Une écharpe de tête, pesant avec son boulon et crochet.	36
Une écharpe portant l'*S* et son boulon, pesant	110
Six crochets à la volée pour soutenir l'écharpe. . . . . } Une bride pour la volée, deux plate-bandes pour l'empâtement, ensemble. . . }	141
Trois frettes du poinçon.	159
Quarante-un boulons pour les moises et poulies.	379
Vingt-huit boulons à écrous pour la roue.	32
Huit clavettes pour les tasseaux.	9
Total des fers.	866

Il a été employé pour construire cette grue 108 journées d'ouvriers, 32 pour la lever et 18 pour la démonter, en tout 148 journées.

313. M. *Rondelet*, qui a eu occasion de faire beaucoup d'ob-

servations sur le service des grues, a remarqué que, pour qu'une grue ordinaire ait la solidité convenable, il ne faut pas 1°. que son bec ou volée éloigne le fardeau de plus de deux cinquièmes de la hauteur totale de cette grue; 2°. que la longueur de la partie du poinçon enmanché dans la charpente mobile formant bec de grue doit être au moins de la moitié de la volée, c'est-à-dire de la moitié de la distance du câble qui soutient le fardeau au centre du poinçon; 3°. que cette partie du poinçon doit être taillée en cône tronqué dont la grosseur par le bas doit être d'autant de pouces que la volée a de pieds, et celle du haut de moitié; 4°. que, soit que la grue agisse par le moyen d'une roue à tambour ou à chevilles, l'éloignement du centre du poinçon à cette roue doit avoir les deux tiers de la volée; 5°. que le diamètre de l'une ou de l'autre de ces roues doit être douze fois plus grand que celui du treuil sur lequel le câble s'entortille; 6°. que la grandeur du potin doit être les deux tiers de la volée. Quoique les grues ordinaires proportionnées de cette manière soient celles dont le service est le plus avantageux, M. *Rondelet* a cependant reconnu qu'elles ont deux inconvéniens principaux. Le premier est que le fardeau suspendu à l'extrémité du bec agit avec une force qui exige une charpente très-forte et très-pesante, qui augmente l'effort du fardeau contre le poinçon; il est si considérable, qu'il dit avoir vu des poinçons de 18 pouces de grosseur se rompre par un fardeau de trois milliers suspendu à l'extrémité du bec de la grue. Le second inconvénient est que la volée, étant déterminée, ne peut être d'un bon usage que pour un seul cas: dans tous les autres, elle se trouve ou trop grande ou trop petite, de manière qu'il faut presque toujours tirer le fardeau pour le mettre en place; ce qui augmente tellement l'effort contre le poinçon que c'est ordinairement dans ces circonstances qu'il se casse. M. *Rondelet* a dé-

montré qu'une grue ordinaire dans laquelle l'éloignement du fardeau au centre du poinçon est de 18 pieds, et qui est chargée d'un fardeau de trois milliers, fait supporter au poinçon un effort latéral de près de 50 milliers. Il a vu effectivement un poinçon de 16 pouces se rompre sous l'effort d'un fardeau qui ne pesait que 2800. En 1763, lorsqu'on commença à ériger les quatre piliers du dôme de Sainte-Geneviève, on fit faire à grands frais une grue qui avait 31 pieds et demi de volée sur 73 pieds de haut. On l'avait placée au centre de ce dôme dans l'espérance qu'elle pourrait faire le service des quatre piliers, des arcs et de la tour au-dessus; mais on fut bientôt obligé d'y renoncer parce que l'effort contre le poinçon était si considérable qu'à peine pouvait-elle porter deux milliers, encore fallait-il qu'elle fût chargée sur la queue, de 7 à 8 cents. Cette grue fut vendue à très-bon compte aux entrepreneurs du pont de Neuilly qui, par la même raison, ne purent pas s'en servir. Cependant cette grue était très-bien faite et bien conditionnée, mais l'artiste qui l'avait imaginée n'avait pas calculé l'effort prodigieux qui devait résulter d'une aussi grande volée.

314. M. *Rondelet* inventa une nouvelle grue bien préférable à celle dont nous venons de parler. Suivant mon avis, elle est la moins défectueuse de toutes les grues connues que l'on emploie dans la construction des édifices. Nous allons transcrire la description même qu'en a donnée ce très-habile constructeur qui en fut l'auteur. Les avantages des nouvelles grues sont, 1°. que la volée, dit-il, ne soutient pas seule le fardeau, comme dans les grues ordinaires; elle ne fait que l'éloigner, d'où il résulte qu'au lieu d'agir comme un levier qui tend à se rompre vers son point d'appui, elle résiste dans le sens de sa longueur comme le bois debout, et que n'ayant pas besoin d'être aussi forte, elle est beaucoup moins lourde que le bas de charpente des grues ordinaires;

2°. que le centre de gravité de la nouvelle grue se trouvant en arrière du poinçon à environ deux pieds de distance, cette position lui donne l'avantage de soutenir un poids de 1800 liv. avant que le centre de gravité se porte en avant du poinçon. Ainsi, lorsque cette grue est chargée de trois milliers elle n'agit pas avec plus de force contre le poinçon qu'une grue ordinaire chargée seulement de 1200. D'après les calculs et les expériences faites par M. *Rondelet*, on a trouvé qu'elle peut porter un poids égal à sa pesanteur sans culbuter, tandis qu'une grue ordinaire, combinée de la manière la plus avantageuse, culbuterait sous une charge moindre de la moitié de son poids, si le poinçon était assez fort pour y résister. Ces nouvelles grues, dont on a fait usage pour la construction du dôme de Sainte-Geneviève, et dont on se sert encore actuellement pour le rétablissement des tours, ont élevé des pierres de 36 à 40 pieds cubes, pesant 6 à 7 milliers, jusqu'à 150 pieds de hauteur, sans être fatiguées, et sans qu'il soit arrivé le moindre accident. On n'aurait jamais osé fier des fardeaux aussi considérables à des grues ordinaires, à cause de l'effort extraordinaire contre le poinçon, qui aurait été de plus de 120 milliers. Dans les nouvelles grues, cet effort peut être tout-à-fait supprimé, parce qu'elles peuvent être haubannées comme une chèvre, au moyen d'une boucle à pivot, placée sur le chapeau qui les termine par le haut. Cette boucle, répondant au centre du poinçon, ne changeant point de place quand on fait tourner la volée, trois haubans suffisent pour lui faire faire un tour entier sans fatiguer le poinçon. Un autre avantage des nouvelles grues est de pouvoir diminuer ou augmenter leur volée de moitié, et de les rendre fixes au point où l'on veut. Souvent, dans la construction d'un édifice, on est obligé de pencher le fardeau en dedans ou en dehors d'un mur ou d'un endroit pour le porter dessus; dans ce cas, il est très-avantageux que la volée puisse s'allonger ou se

raccourcir, afin de poser le fardeau en place sans être obligé de tirer, au risque de faire culbuter la grue ou de crocher le fardeau. (Voyez fig. 1, pl. XV.)

315. Les dimensions des grues exécutées pour le dôme de Sainte-Geneviève, ont été combinées pour la place et le service qu'elles avaient à faire; mais elles sont susceptibles de dimensions plus ou moins grandes, suivant les circonstances. La hauteur totale est de 36 pieds; leur plus grande volée est de 18 pieds, et la plus petite de 9, en sorte qu'on peut faire décrire au fardeau, des arcs de cercles depuis 9 pieds de rayon jusqu'à 18. La charpente mobile, qui porte la volée, est composée d'un double assemblage de pièces. Les deux grandes, posées debout désignées par le chiffre 5, sont appelées jumelles. C'est entre ces pièces que s'ajuste le poinçon 1, de manière à lui laisser assez de jeu pour qu'elles ne puissent pas frotter en tournant. Comme la partie arrondie de ce poinçon va en diminuant, l'intervalle entre les jumelles est plus rapproché par le haut que par le bas. Ces jumelles sont réunies dans leur longueur, par trois entretoises 6, 6, 6. La plus basse porte en dessous une forte crapaudine en fer fondu, qui reçoit le pivot du poinçon sur lequel porte toute la partie mobile de la grue. Par le bas, les jumelles sont assemblées dans une plate-forme 9 formant moise, percée d'un trou rond, qui embrasse le poinçon par le bas de la partie arrondie, à l'endroit où se fait le plus grand effort. Pour adoucir le frottement, on a garni la partie du poinçon, qui répond au trou rond de cette moise, d'une bande de cuivre formant cercle, qui rend le mouvement extrêmement doux et égal. Par le haut, les deux jumelles sont assemblées dans une pièce 8 appelée *chapeau;* elles sont embrassées, aux deux cinquièmes de leur hauteur, par une grande moise 7, qui porte la roue et un des bouts du treuil, par le moyen d'une plate-forme pendante 13,

affermie par le haut par deux liens; l'autre bout est soutenu par deux poteaux 12, assemblés avec la moise du bas 9, et la grande moise 7. Au-dessous de cette grande moise sont quatre liens 11, qui s'assemblent par le bas dans les jumelles 5, et au-dessus, quatre contre-fiches 10, pour contre-buter les jumelles par le haut et les maintenir d'aplomb. La volée est formée par une pièce de bois 15, arrêtée par le bas au-devant du poinçon sous la grande moise, par un fort boulon, autour duquel elle est mobile. Ce boulon est soutenu par deux tasseaux, entaillés dans les jumelles et retenus par un étrier de fer qui les embrasse. Cette volée est garnie par le haut d'une poulie de fonte *a* de deux pieds de diamètre, portant d'un côté une roue de fer à dents de scie, afin de pouvoir l'enrayer lorsqu'on veut rendre la volée mobile. Pour cela, on a adapté, au-dessus de la poulie, une espèce de levier double *b*, mobile autour d'un boulon qui est au tiers de sa longueur, et ce levier est adapté à une pièce de fer aplatie d'un bout *d* pour presser le câble sur la poulie, et portant de l'autre une dent pour s'engrener en même temps avec la roue dentée; en sorte que, si la grande roue du treuil agit, elle fera monter ou baisser la volée avec le fardeau.

Le petit levier qui enraye ou qui désenraye la poulie, agit par le moyen de chaînes arrêtées à ses deux bouts, et qui passent sur les poulies enfilées dans le même boulon que la volée. Une de ces chaînes vient s'entortiller sur un petit cylindre où elle est arrêtée. On fait bander la chaîne par le moyen d'un poids suspendu à l'extrémité d'un levier planté dans le cylindre; alors la poulie et le câble s'enrayent. On arrête la volée au point où l'on veut, par le moyen d'une forte crémaillère de fer posée sur une pièce de bois 16, attachée d'un bout à la volée aux deux tiers de sa longueur par un étrier de fer, et un boulon autour duquel cette pièce peut tourner. L'autre bout roule sur un petit cylin-

dre 27, placé entre les jumelles mobiles autour de son axe, pour diminuer le frottement au-dessus de la pièce de bois qui roule sur le cylindre; aussi entre les jumelles est une espèce de couteau ou barre triangulaire 17, qui fixe la volée en s'engrenant dans les dents de la crémaillère. Ce couteau qui est arrêté dans une des jumelles par un boulon de fer autour duquel il peut tourner, agit par le moyen d'une tringle de fer verticale 18, posée en-dehors de l'autre jumelle que le manche du couteau traverse. Ce mouvement s'exécute par le moyen d'un grand levier de fer 20, posé vers le bas des jumelles, ajusté à un des bouts d'un axe horizontal, qui porte à l'autre bout une espèce de manivelle 19, évidée pour recevoir un bouton ajusté au bout de la tringle verticale 18. Le levier se fixe par le moyen de deux crochets placés sur la plate-forme dans laquelle les jumelles sont assemblées par le haut. Lorsqu'on transporte le levier du crochet qui est à droite à celui qui est à gauche, la manivelle en tirant la tringle fait baisser le couteau qui s'engrène dans la crémaillère, alors la volée reste fixe et la grue fait le service d'une grue ordinaire. Lorsqu'au contraire on transporte le levier du crochet qui est à gauche à celui qui est à droite, ce mouvement fait enrayer d'un côté la poulie de la volée et le câble, de l'autre côté il fait lever le couteau qui était engrené dans la crémaillère; alors la volée devient mobile et peut hausser et baisser avec le fardeau en s'allongeant et en se raccourcissant, selon les circonstances, pour que le grand levier puisse faire mouvoir en même temps la tringle qui lève le couteau, et bander la grande chaîne pour enrayer la poulie de la volée; on a adapté à l'axe qui porte le grand levier et la manivelle, un autre petit levier 21 qui se met entre une des deux jumelles et le poinçon. Ce petit levier est lié avec un autre 22 planté dans un rouleau au petit cylindre dont il a déjà été question, auquel est

attaché un poids 23 pour faire bander la chaîne qui fait enrayer la poulie et le câble au haut de la volée. Il résulte de cet arrangement, que lorsque le grand levier est porté du crochet qui est à gauche à celui qui est à droite, le bout de chaîne qui lie les deux leviers soulève le poids qui faisait bander la grande chaîne, et qui devient alors assez lâche pour que le petit levier double, du haut de la volée puisse relever et désenrayer la poulie par le moyen d'un petit poids suspendu à une chaîne attachée à l'autre bout de ce levier double. Il a fallu faire agir ces chaînes qui enrayent et désenrayent la poulie par le moyen de deux poids, parce qu'à mesure que la volée se lève, il se développe une partie de chaînes de dessus les poulies sur lesquelles elles passent au bas de la pièce de bois qui forme la volée; ce qui diminuerait la tension de cette chaîne, si le poids, en s'abaissant, ne la conservait toujours égale et suffisante. Ce mécanisme, qui paraît compliqué dans une description, n'exige pourtant, pour s'en servir, qu'une manœuvre très-facile et très-sûre, puisqu'il ne s'agit que de transporter le levier d'un crochet à un autre.

Si la volée est fixe et qu'on veuille la rendre mobile, il suffit de dire à un manœuvre le plus borné de changer le levier, et tout s'exécute avec la plus grande précision; il n'y a aucune méprise à craindre de sa part; il le trouve accroché d'un côté, il l'accroche de l'autre. Le mécanisme est tellement combiné, que, quand même il l'accrocherait mal, il n'en pourrait résulter aucun inconvénient: le levier peut lui échapper des mains et rester au tiers, au quart de sa course, ce serait la même chose, parce que la poulie ne peut se désenrayer, sans que le couteau ne soit engrené dans la crémaillère, et qu'il ne peut se faire aucun effet sans que l'effet contraire ne s'exécute en même temps. Cette nouvelle grue, malgré ces avantages, paraîtra peut-être trop compliquée pour l'usage des bâtimens; mais on peut sup-

primer si l'on veut toutes les mécaniques qui servent à rendre la volée mobile, tandis qu'elle est chargée du fardeau : alors elle devient plus simple, moins coûteuse que les grues ordinaires, et d'un meilleur service, puisqu'elle peut élever de plus grands fardeaux, qu'à volée égale elle n'a pas besoin de tant d'élévation, et qu'en pratiquant les trous dans la pièce de bois qui soutient la volée, on pourrait la fixer avant de s'en servir au point que l'on voudrait, par le moyen d'un fort boulon qui passerait au travers des jumelles.

316. Il ne faut pas confondre les *engins* avec les grues. Les engins, comme les grues, ont un bec saillant ou une volée ; mais cette volée est bien plus petite, et elle n'est pas tournante. Les engins doivent être classés parmi les *écoperches*. La principale différence qui les distingue d'avec les écoperches dont nous avons parlé (298), est qu'ils n'ont pas besoin, pour se soutenir, d'être haubannés. (Voyez figure 2, planche VII). Un engin est composé : 1°. d'une grande pièce de bois verticale *a*, qui est appelée *poinçon*, qui est soutenue latéralement par trois grandes contre-fiches *b c d*. Le poinçon et les contrefiches sont montés sur un *patin* *f f*, composé de deux pièces assemblées à angle droit, et entretenues par des liens. Plusieurs moises assujettissent ensemble le poinçon avec les contre-fiches. 2°. Un assemblage, appelé *fauconneau*, est posé au haut du poinçon qui se termine par une espèce de pivot conique. Cet assemblage est composé de quatre pièces, du fauconneau proprement dit *m m*, de la sellette *n n*, et des deux liens *p p*. Le fauconneau porte deux poulies, dont une correspond à un treuil *q q*, et l'autre correspond au fardeau à élever. Si on ôte le fauconneau d'un engin, et qu'on lui substitue une volée faite comme celles des grues ordinaires, mais plus petite, cet appareil prend alors le nom de *grueau*. (Voyez fig. 1, pl. VII.)

317. Nous décrirons, dans le chapitre suivant, les grues à poinçon fixe. A l'égard de celles dont nous venons de parler, qu'il me soit permis de proposer une question. Est-il bien démontré qu'il y ait un avantage réel d'employer ces appareils coûteux, volumineux, pesans, et qui exigent, pour être placés, de si solides et si spacieux échafaudages? Ne serait-il pas plus simple d'établir, comme on le pratique en Italie, un point de suspension fixe, au moyen duquel ayant élevé verticalement un fardeau, on le dirige ensuite vers l'endroit où il doit être posé, en le faisant glisser sur un plan incliné, ou en le traînant sur un plan horizontal? Ou bien encore, ne serait-il pas plus convenable de se servir de la méthode que nous avons décrite (305), et dont M. *Perronnet* s'est servi dans la construction de plusieurs de ses ponts? Quant à moi, je n'ai pas de données assez positives pour résoudre cette question, que j'abandonne à la sagacité de mes lecteurs.

Il paraît que les anciens n'ont pas employé les grues tournantes, dans la construction de leurs édifices, quoiqu'ils les connussent, puisqu'ils se servaient d'un appareil de cette espèce sur leurs galères, pour prendre à l'abordage celles des ennemis dans les combats navals. *Vitruve*, dans son livre X, décrit les appareils qui servaient à la construction des temples et autres édifices, et ne fait aucunement mention des grues, qu'il n'aurait certainement pas oubliées, si elles eussent été en usage. En Italie, où l'on trouve un aussi grand nombre d'édifices importans, les grues tournantes ne furent pas adoptées.

CHAPITRE III.

Des grues et autres appareils pour charger et décharger les bateaux; et des machines à mâter.

318. ON établit sur les ports, et quelquefois sur des bateaux, trois sortes principales d'appareils pour charger et décharger les bateaux : 1°. les grues tournantes à poinçon fixe ; 2°. les grues à point de suspension mobile, en ligne directe ; 3°. les grues à point de suspension fixe, et à plan incliné.

319. Il y a des grues tournantes qui ont un seul bec ou volée, il y en a aussi qui en ont deux. La figure 3 (planche VII) représente une grue tournante, à un seul bec. Elle fut exécutée au port des Sables-d'Olonne, par M. *Lamandé*, inspecteur général des ponts et chaussées. Sur le poinçon *a* de cette grue, est posée horizontalement une pièce de bois de 13 mètres de longueur, qui sert de volée, et que l'on nomme l'*arbalétrier g g*. Cet arbalétrier est renforcé par une sous-poutre *h. h.* Une forte moise *m* horizontale embrasse le poinçon. Deux liens *d d*, et une *écharpe c*, s'appuyent sur la moise, dans laquelle ils sont insérés, et soutiennent l'*arbalétrier g*. La moise oblique *f* fait le même effet, et soutient une poulie *p*, sur laquelle doit passer le câble, qui part du treuil *q q*, monte sur la poulie *o*, et descend par la poulie *r* à saisir le fardeau. Deux *aiguilles pendantes n n*, soutiennent le treuil et sa roue à chevilles. Plusieurs liens arc-boutent en divers sens contre les *aiguilles pendantes*, et contribuent à les affermir. La grue inventée par M. *Rondelet*, et dont nous avons donné la description (314), pourrait servir aussi avantageusement, sur les ports,

à charger et décharger les bateaux, comme elle a servi avec utilité dans la construction des édifices.

320. La figure 1 (planche XII) représente la grue qui est établie sur le port du Louvre ; cette grue a deux becs ou volées. Une portion de son poinçon ainsi que quatre contre-fiches qui lui servent d'empatement, sont renfermées dans un massif de maçonnerie, recouvert de pierres de taille. Chacun des *becs* ou *volées a b*, est double pour plus grande force ; c'est-à-dire, il est formé de deux pièces de bois, réunies dans leur longueur par des entretoises et des boulons de fer : par le bas, où elles ont des dimensions plus fortes, elles sont écartées d'un mètre, et elles se rapprochent par le haut ; elles ont une inclinaison de 45 degrés ; elles sont assemblées dans une plate-forme *c*, formant moise percée d'un trou rond qui embrasse le poinçon. Les volées sont embrassées par de fortes pièces horizontales *d d*, *f f*. Sous *f f*, est placées une espèce de *crapaudine g*, dans laquelle repose l'extrémité supérieure du poinçon. Deux poulies de bronze sont placées au sommet des volées. Un châssis est établi sur *d d* ; ce châssis supporte les treuils de deux roues à double force, et une petite cabane où se placent les hommes qui font agir ces roues. Dans la construction de cette grue, qui est très-bien faite, on n'a négligé aucune précaution pour diminuer les frottemens et adoucir le mouvement; tous les axes tournent sur des petits rouets de fonte qui tournent aussi avec eux. De semblables rouets, insérés horizontalement dans la plateforme *c*, qui embrasse le poinçon, diminuent également les résistances que l'appareil éprouve lorsqu'il tourne sur le poinçon même.

321. Les grues tournantes à poinçon fixe, ont, comme les grues ordinaires qu'on emploie dans les constructions, l'inconvénient grave de faire supporter à leur poinçon un effort énorme, lorsqu'on élève un fardeau considérable, de sorte qu'elles ne sont

réellement d'un bon usage que pour élever des poids qui n'excèdent pas deux à trois milliers, et on ne peut, sans imprudence, risquer de s'en servir pour des fardeaux de plus de quatre à cinq milliers. Cette espèce de grue, qui exige, pour agir, un espace circulaire dont le diamètre doit être au moins de 12 mètres, ne peut conséquemment servir dans les endroits resserrés. Dans la belle grue de M. *Albert*, sur le quai du Louvre, le treuil et les roues sont placés de manière qu'ils servent de contre-poids au fardeau lorsqu'on fait usage de la volée *b*, qui est toujours celle à laquelle on le suspend, dans le cas où le fardeau à élever est considérable; on a aussi la facilité de pouvoir suspendre un poids à la volée, pour diminuer encore plus l'effort contre le poinçon. Le plus grand poids que cette grue peut soulever sans péril, est de cinq à six milliers. Un homme, en travaillant sur la roue à double force, peut faire un effort d'à peu près 1500 livres. Deux hommes soulèveraient un poids de six milliers, si on suspendait le fardeau à une poulie mobile. M. *Hachette*, ayant fait des observations sur cette grue, a reconnu que trois ouvriers suffisent pour élever dans un jour, au moyen d'un tel appareil, 1300 à 1400 pieds cubes de pierre, dont chaque pied pèse environ 150 livres, à trois mètres deux centimètres de hauteur moyenne.

322. La grue nouvellement construite sur le bord de la Seine, entre la pompe à feu du Gros-Caillou et le pont des Invalides, offre un modèle de l'espèce de grue que nous avons nommée *grue à point de suspension en ligne directe*. (Voyez fig. 1, 2, planche XI). Un châssis horizontal, de 9 à 10 mètres de longueur sur 3 de largeur, placé à 7 mètres à peu près au-dessus de la hauteur moyenne de l'eau de la Seine, est soutenu, de chaque côté, par trois montans, 1, 2, 3, et par deux *écharpes* 4, 5, dont l'une s'appuie contre le dernier montant 3, et l'autre, con-

tre cette première écharpe; elles sont liées entre elles, et avec les montans, par les moises 6, 7, 8, 9. Les montans sont affermis, par le pied, avec des contre-fiches, et par le haut avec des liens. On a pratiqué autour du châssis un plancher d'à peu près un mètre de largeur, sur lequel doivent se placer les hommes qui font aller la machine. Sur ce même châssis est posé un chariot qui porte la machine. La partie saillante de la grue a 5 mètres. Le chariot est placé sur quatre roues de fonte, qui ont 6 décim. de diam., et un décim. de largeur; elles sont dentées, mais seulement sur un tiers de leur largeur; le reste de la surface cylindrique des mêmes roues est uni. Les essieux sont en fer, enchâssés chacun dans une pièce de bois de 2 décimètres sur 3 décimètres d'équarrissage. Deux autres pièces sont placées en travers perpendiculairement et au-dessus de celle-ci: elles soutiennent deux cylindres pareillement en bois, ayant des diamètres inégaux 15 et 16. Ces cylindres portent deux roues dentées égales 17 et 18, qui engrènent dans un pignon placé au milieu 19, à l'axe duquel on adapte une manivelle. Afin de faciliter le mouvement horizontal du chariot, on a inséré, le long du châssis, des lames de fer sur lesquelles les roues tournent. Quand on veut décharger un bateau, au moyen de cette grue, on fait d'abord avancer le chariot jusqu'à l'extrémité de la saillie; ensuite, en faisant tourner la manivelle du pignon 19, on fait tourner en même temps les deux roues dentées 17 et 18, et les deux cylindres 15 et 16, mais en sens contraire. Le câble est enveloppé sur le petit rouleau 15; il passe ensuite sur une poulie mobile au croc de laquelle on suspend le fardeau à élever; et il remonte pour environner le grand rouleau 16. Le mouvement du pignon, communiqué aux cylindres, fait en même temps développer le câble du petit cylindre pour l'envelopper sur l'autre, ce qui oblige le fardeau à remonter. (Voyez le cha-

pitre VI du livre premier, où cette espèce de machine est décrite). Le rapport entre la puissance et la résistance dans cette machine, est exprimé par celui qu'il y a entre la longueur de la manivelle d'un côté, et de l'autre, par la demi-différence des rayons des cylindres 15 et 16, multipliée par le rayon du pignon, et divisée par celui des roues dentées. Lorsque le fardeau est arrivé à une hauteur suffisante, on fait reculer le chariot avec sa charge jusqu'à l'autre extrémité du châssis, ensuite on dépose ce fardeau sur le terrain. On fait avancer le chariot avec une très-grande facilité. Nous avons déjà dit que les 4 roues qui le supportent sont garnies d'une *dentelure ;* cette *dentelure* engrène dans un pignon 22 placé au-dessus, qu'on fait tourner avec une manivelle. Cette grue, très-bien imaginée et très-bien construite, a cependant un grave défaut; sur l'extrémité de la saillie de cet appareil, qui est évidemment l'endroit le plus faible, se trouvent concentrés les efforts des moteurs et de la résistance, le poids du chariot, qui est de deux milliers à peu près, et le poids des hommes qui agissent sur la machine : cette surcharge est telle qu'elle ne permettrait pas d'élever sans danger, des fardeaux considérables.

323. M. *Lesage*, dans son *Recueil de mémoires*, extrait de la bibliothéque des ponts et chaussées, a donné la description d'une grue très-ingénieuse, en usage à Liverpool, et dans d'autres ports d'Angleterre, destinée au déchargement des vaisseaux ou bateaux sur les quais. (Voyez figure 1 et 2, planche X). Cette grue est de l'espèce de celles que nous avons nommées grues à point de suspension fixe et à plan incliné. Elle pose sur quatre patins A dont deux sont placés perpendiculairement à la rive du quai, et les deux autres forment traverse. Sur les patins, s'assemblent quatre poteaux montans B B, éloignés deux à deux d'un intervalle déterminé suivant les dimensions générales du

système ; ceux de devant sont réunis par deux traverses horizontales ; les poteaux du derrière sont creux, et s'élèvent plus que les précédens: chacun porte à son extrémité une poulie D, sur laquelle passe une corde E, ou chaîne, qui soutient un contrepoids F, qui peut monter ou descendre dans son intérieur. Ils sont réunis par deux traverses G, et aux poteaux de devant par deux traverses K et des potelets L. Une flèche H, faisant fonction de potence, s'appuie, à son extrémité inférieure, sur la traverse supérieure G des poteaux creux, et est soutenue par un potelet I, placé au milieu de la traverse *c* du devant. Les traverses supérieures K supportent les tourillons d'un treuil ayant une roue dentée N, qui engrène avec un pignon *o*, placé contre un des potelets L ; son axe est mu par une manivelle P, ou une roue à tambour : autour du treuil s'enveloppe un câble Q, qui, passant sur deux poulies R, placées dans la flèche H, vient agraffer, par le moyen d'une tenaille S, le fardeau T à élever. Cette tenaille S, au moyen d'un ressort, reste continuellement ouverte, et ne se ferme que lorsqu'elle supporte un fardeau. Sur les traverses inférieures C et G, s'appuient de chaque côté, des flèches V qui font saillie ; elles sont échancrées intérieurement pour laisser glisser un tablier X, garni de roulettes Y, afin de diminuer le frottement. Sur le prolongement des flèches sont placées des pièces de bois Z de même forme, formant plans inclinés, et destinées à conduire jusqu'à terre le *tablier* X. L'extrémité supérieure des flèches porte une poulie *a*, sur laquelle passe le câble E, qui s'attache, d'une part, au tablier X, et de l'autre, passant sur la poulie D placée à l'extrémité du montant creux B, soutient le contrepoids F. Par ce moyen, le tablier est sans cesse attiré à l'extrémité des flèches V. Le câble Q, qui supporte la tenaille S, passe dans un anneau *b*, placé à l'extrémité d'un levier de fer I, dont le point d'appui est fixé à

la flèche H, formant potence; l'autre extrémité communique, au moyen d'une tige *n*, aux extrémités des deux autres leviers *f*, placés horizontalement; ceux-ci, au moyen des tiges verticales *n*, font lever et baisser deux verroux *g*, logés dans des rainures pratiquées dans les flèches V. Ces verroux étant baissés, ce qui est leur position ordinaire, par l'effet du poids *h*, contiennent le tablier X, afin de donner le temps au fardeau T de dépasser en montant le dessus du tablier X. Le câble Q porte immédiatement au-dessus de la tenaille S, une boule *m* d'un diamètre supérieur à celui de l'anneau du levier I. Cela posé, qu'il s'agisse d'élever un fardeau T placé à la surface de l'eau, je suppose le tablier X retiré entre les quatre poteaux montans B, et les verroux fermés, la tenaille S descendue jusqu'au fardeau T, on agraffera celui-ci, puis tournant la manivelle P, ou la roue, on forcera le câble Q à s'envelopper autour du treuil M, et à élever le fardeau jusqu'à ce que la boule *m* rencontre l'anneau *b* du levier *d*; celui-ci alors basculera, communiquera le mouvement aux leviers horizontaux *f*, puis aux verroux *g*, qui s'élèveront au moyen des tiges *c*; le tablier X, libre, cédera alors à l'action du contrepoids F, et, s'élevant jusqu'à l'extrémité supérieure des flèches, se placera au-dessous du fardeau T. Si donc on tourne le treuil M en sens inverse, le fardeau T viendra se placer sur le tablier X, qui le soutiendra; il se trouvera alors abandonné par la tenaille S, et livré à l'action de sa pesanteur, qui, l'emportant sur celle des contrepoids F, forcera le tablier à descendre, et à parcourir toute la longueur des flèches et des plans inclinés Z. Le fardeau T déchargé, le tablier X remontera de lui-même; mais les verroux *g*, s'étant refermés toujours par la seule action du poids P, il sera forcé de rester entre les poteaux montans B. Le même effet se répétera autant de fois que l'on fera manœuvrer la machine. Cette grue a des propriétés avantageuses

qui peuvent la rendre préférable aux autres dans plusieurs occasions. Sa forme et sa disposition permettent de l'établir dans des endroits très-resserrés; ils permettent aussi de pouvoir y employer des moufles combinés avec un cabestan, pour produire un effort considérable sans complication de mécanisme. On peut facilement donner à cette grue, une solidité bien plus grande qu'aux autres espèces, et conséquemment s'en servir pour élever de plus pesans fardeaux.

324. L'appareil le plus considérable de tous ceux dont on se sert habituellement dans les ports, pour élever de grands fardeaux, est sans doute celui que l'on désigne par le nom de *machine à mâter*, que l'on établit sur le bord d'un quai, pour servir à élever en l'air, et à amener les mâts majeurs d'un vaisseau, soit pour les mettre en place dans leurs étambrais, lorsqu'on veut l'armer, soit pour les en ôter lorsqu'on le désarme. Cet appareil consiste en de hauts mâts ou bigues, assemblés en angle aigu, fortement tenus ensemble par des traverses ou clefs, qui les lient l'un à l'autre de distance en distance. On plante ces bigues dans la maçonnerie du quai, de manière qu'elles inclinent assez vers la mer, en déviant de la perpendiculaire, pour que leur tête réponde verticalement sur le milieu des vaisseaux qu'on y mâte, en les amenant le long du quai. La hauteur de ces bigues est de 44 mètres ou environ, et leur saillie sur la mer, de 8 mètres. Ces deux bigues principales sont retenues par derrière, et affermies par un ou deux mâts obliquement placés en arcs-boutans, qui tiennent au milieu des clefs ou traverses, et qui sont eux-mêmes assemblés et entretenus par d'autres clefs ou traverses. De plus, on établit sur les côtés, et sur le derrière de la machine divers haubans, les uns frappés à la tête des bigues, et les autres à différens endroits, entre la tête et les deux tiers de leur hauteur, et qui se rident à cap-de-mouton ferré, te-

nus sur la maçonnerie qui environne la machine à mâter. Quant au mécanisme, il consiste en plusieurs gros palans et caliornes frappés à la tête des bigues, en plusieurs rouets de fonte, pratiqués dans un bloc de bois ou chouquet, qui tient le haut des deux mâts, et leur sert comme de chapeau. Ces caliornes et les garans, qui passent dans les différens rouets, se meuvent d'en bas, les uns sur un treuil porté à une certaine élévation sur deux montans derrière les bigues, et qui tourne par le moyen de deux grandes roues à tambour; les autres garans, et cordages plus petits, se manœuvrent à des cabestans, placés à droite et à gauche des roues.

Les figures 1 et 2 (planche XIX) représentent une machine à mâter établie sur le bord d'un quai, revêtue de maçonnerie. La figure 1 est une élévation latérale; la figure 2, une projection horizontale à vue d'oiseau. Les mêmes objets sont indiqués dans les deux figures par des lettres correspondantes.

a b, indique les deux grands mâts, dont les bases sont scellées dans la maçonnerie et les sommets se réunissent en forme de bigue;

q q q, sont de fortes moises horizontales, destinées à affermir l'assemblage des deux grands mâts;

p p p h h, est un assemblage de charpente posé obliquement derrière la bigue pour en déterminer l'inclinaison et la rendre invariable;

l l, sont les haubans qui soutiennent et affermissent la bigue;

d, est une caisse placée au sommet de la machine, pour renfermer les moufles supérieurs des palans et les mettre à l'abri;

c, est le mât qu'on élève;

m m, sont deux grandes roues à tambour, dans lesquelles les hommes moteurs agissent lorsque la machine est en activité ;

g g, sont les cabestans de renfort X X.

Dans la machine à mâter, de Brest, on ne se sert que de cabestans. On frappe plusieurs de ces caliornes et palans, sur le mât qu'on veut placer; et, en virant les roues et les cabestans, on élève ce mât à une hauteur suffisante; après quoi, l'ayant conduit verticalement au-dessus de son étambrai, on le laisse tomber lentement, jusqu'à ce qu'il pose sur la carlingue au fond du vaisseau. On bâtit autour de la machine, plusieurs cabanes ou logemens, servant, les uns, de magasins pour les cordages, poulies et outils nécessaires; les autres, à loger les gardiens.

325. On voit, à Rochefort, et dans les arsenaux de marine d'Angleterre, des machines à mâter flottantes. Voici la description de celle de Rochefort, que donne M. *Romme*, dans son *Art de la mâture*. Si on imagine qu'un gros vaisseau ait été rasé jusqu'à son premier pont exclusivement, on aura l'idée d'un ponton, et de cette base, qui sert d'appui à la machine à mâter du port de Rochefort. Au milieu de ce ponton est un grand mât, et, sur le pont, sont placés plusieurs cabestans. Sur le côté de ce ponton, et au milieu du contour du pont, il y a trois grands mâts situés dans le même plan, dont le pied repose sur le contour du ponton, et qui s'appuient les uns sur les autres, en formant ensemble, par leur liaison, l'assemblage le plus fort et le plus solide. Ces trois mâts ne sont pas parallèles l'un à l'autre; ils tendent à se réunir par leur sommet. Le plan, dans lequel ils sont placés est incliné à l'horizon, et la tête de cet assemblage est retenue par un très-grand nombre de gros cordages, qui, d'un côté, sont attachés à différens points de la longueur de ces mâts, et de l'autre côté, sont liés

au bord opposé du ponton. Les deux mâts extrêmes se nomment *bigues*, ont chacun 37 mètres de longueur, et 6 décim. de grosseur à leur gros bout. Le mât qui tient le milieu, et qui est nommé *sous-barbe*, est de 32 mètres de longueur, et de 7 décimètres de diamètre à son gros bout. La distance réciproque des pieds de ces trois mâts, est de 4 mètres. Ces trois mâts sont liés les uns aux autres, par de fortes traverses nommées *entretoises*, placées horizontalement sur divers points de leur longueur, et traversant chacune les trois mâts. Cet assemblage, par ce moyen, devient un tout très-solide, et susceptible de la plus grande résistance. Cet assemblage, placé sur le côté du ponton, est incliné à l'horizon, de façon que l'écartement de la ligne verticale, du sommet au bas, est égal à 6 mètres. Il est maintenu dans cette position, non-seulement par les cordages ou haubans attachés sur l'autre bord du ponton, mais aussi par deux fortes pièces de bois, nommées *antennes*, dont une extrémité est liée au mât du ponton, et l'autre à la sous-barbe. Elle a 20 mètres de longueur, 5 décimètres de diamètre, tandis que la seconde antenne a 27 mètres de longueur et 6 décimètres de diamètre. Ces antennes sont elles-mêmes soutenues par des haubans multipliés, qui sont attachés à différens points de leur longueur, et sont retenus par le mât du ponton. On doit remarquer que l'antenne supérieure est d'un échantillon plus fort que l'inférieure, et c'est par la raison que celle-là est seule chargée de la fonction de mâter un vaisseau; en effet, cette antenne passe entre les bigues, sur la tête de la sous-barbe qui lui sert d'appui, et saille en dehors du plan du système des mâts d'une certaine quantité. C'est sur cette partie saillante de l'antenne que sont placées les caliornes et les poulies nécessaires au mâtage des vaisseaux. Les machines de Brest et de Toulon, qui portent sur une base fixe, ont une plus grande inclinaison vers la mer

que celle de Rochefort, parce que celle-ci, étant flottante, lorsque les bigues sont chargées du poids du gros mât, elles s'inclinent vers la mer, ainsi que le ponton qu'elles entraînent, et il résulte de cette nouvelle inclinaison, que l'éloignement de la verticale est alors de 7 à 8 mètres, éloignement qu'ont les machines de Toulon et de Brest. Cette moindre inclinaison des bigues, dans la machine de Rochefort, est accompagnée d'un grand avantage; les haubans les soutiennent avec plus de fermeté, les antennes sont moins longues, les bigues plus courtes, et tout l'assemblage est enfin plus solide et mieux lié.

326. Ces machines à mâter exigent un entretien très-coûteux; lorsque le bois se gâte en quelque endroit et devient douteux, il faut les remplacer en entier; ce qui occasione une très-grande dépense, soit en matériaux, soit dans le travail, pour élever cette machine énorme à sa place. On a trouvé qu'il était bien plus convenable de les placer sur des tours; alors les bigues en deviennent très-courtes, et l'assemblage peu compliqué, très-solide, et dans le cas d'un petit entretien. La belle machine à mâter de Copenhague est de cette espèce; sur une tour de plus de 33 mètres de hauteur, s'élève un mât perpendiculairement au milieu. Ce mât contribue à soutenir la partie saillante, qui est affermie en outre par plusieurs haubans.

La machine à mâter de Venise, sera, lorsqu'on l'aura achevée, une des plus considérables d'Europe; elle a été commencée sous la direction de M. Lessan, habile ingénieur français. On eut beaucoup de difficulté à établir les fondations de la tour de cette machine, qui sont placées à plus de 9 mètres, sous le niveau des basses eaux ordinaires. La tour a 43 mètres de hauteur. La machine qu'elle doit contenir est très-bien imaginée. Elle sera composée d'un simple faucon de 23 mètres de longueur, fait par la réunion de plusieurs pièces de bois. La moi-

tié de ce faucon, posée presque horizontalement, sortira hors de la tour, et formera la saillie à l'extrémité de laquelle les mâts doivent être suspendus. Cette partie saillante sera soutenue par quatre forts liens, passés obliquement en dessous; ils s'appuieront, d'un côté, sur des modillons en pierre de taille, insérés dans le mur de la tour; et de l'autre côté, ils s'emmancheront dans le faucon, et feront l'office d'arcs-boutans. Le faucon, intérieurement, sera retenu par plusieurs traverses, fixées dans les deux murs latéraux. La partie mécanique sera composée de deux grandes roues à tambour que l'on combinera avec des caliornes. Cette machine sera encore plus simple, et moins sujette à entretien que celle de Copenhague. Il est à regretter, cependant, que le plan de sa tour ne soit pas régulier.

CHAPITRE IV.

De l'élévation des menus matériaux.

327. Il y a trois méthodes principales pour élever les menus matériaux : la première est de les porter à dos; la seconde est de les faire passer d'une main à l'autre par plusieurs ouvriers placés à cet effet l'un au dessus de l'autre; la troisième est de se servir d'un treuil, sur lequel est fixée une corde dont chaque bout soutient une caisse ou un sceau; en faisant tourner le treuil, la corde s'enveloppe d'un côté et se développe de l'autre, de sorte qu'un des sceaux remonte tandis que l'autre descend.

328. Les observations que M. *Coulomb* a faites sur le travail des hommes nous ont fait connaître (156) que le travail moyen qu'un ouvrier peut faire dans sa journée, en transportant sur son dos un fardeau à une certaine hauteur, est d'élever un poids de 130 à 140 livres à 900 mètres d'élévation per-

pendiculaire, en y comprenant les retours à vide; au moyen de ce résultat on pourra facilement calculer le nombre de toises ou de mètres cubes d'une matière dont la pesanteur spécifique est connue, qu'un ouvrier élèvera à une hauteur déterminée dans sa journée; et on calculera également, d'après le prix de cette journée, à combien le mètre reviendra un tel transport. Je suppose qu'on doive transporter de la terre à 20 mètres d'élévation, le poids en est évalué à 120 livres le pied cube: un ouvrier transportera, dans sa journée, à peu près 38 pieds cubes, et, si l'élévation n'est que de dix mètres, il en transportera 76. Un autre résultat des mêmes observations de M. Coulomb, est, que le travail d'un homme qui monte étant chargé, comparé avec celui d'un ouvrier qui agit sur la manivelle d'un treuil, devient moindre d'un cinquième, de sorte que il y aura avantage d'un cinquième d'employer un treuil pour élever le fardeau, plutôt que de le faire porter à dos. Voilà pourquoi, dans les grandes constructions, on préfère l'emploi d'un moulinet avec deux caisses, dont l'une descend vide, tandis que l'autre montre pleine, pour élever le ciment, les moellons, les briques et autres menus matériaux, au lieu de faire porter ces mêmes matériaux par des manœuvres, comme on le pratique dans les constructions de moindre importance. Il y a une circonstance à laquelle il faut faire attention, qui diminue l'avantage qu'a la méthode du moulinet sur celle de porter à dos, et qui même, dans plusieurs cas, rend cette seconde préférable à la première. Lorsqu'on se sert du moulinet il faut d'abord transporter et déposer les matériaux qu'on doit élever, dans un endroit auprès de l'emplacement où correspondent les caisses suspendues à ce moulinet, pour les charger successivement dans ces mêmes caisses, qui les transportent à la hauteur où ils doivent parvenir, et où, étant arrivés, on en

forme un tas, où des manœuvres viennent ensuite les prendre à dos, pour les porter dans différens endroits pour être mis en œuvre; ainsi donc, il y a un double chargement et un double déchargement. Cet inconvénient ne se fait pas sentir d'une manière aussi sensible, quand les distances des lieux sont considérables, que quand elles sont fort petites; dans ce dernier cas, on doit préférer les transports à dos. *Scamozzi* rapporte dans son *Traité d'architecture*, que, lorsqu'on construisit Saint-Pierre de Rome, on fit transporter les menus matériaux par des animaux, que l'on faisait monter sur les échafaudages par des rampes en pente douce. La méthode de placer plusieurs ouvriers l'un au dessus de l'autre sur les échelles ou les échafaudages, pour faire passer les matériaux d'une main à l'autre, est avantageuse et très-expéditive, pourvu que l'opération ne soit pas de trop longue durée.

329. On peut quelquefois, avec un moyen très-simple, faire parvenir immédiatement les menus matériaux à l'endroit même où ils doivent être employés, quoique cet endroit ne corresponde pas verticalement à celui où ces matériaux se trouvent. Il suffit de tendre une corde qui parte de l'un de ces endroits, et aille aboutir à l'autre. On placera une poulie dans le lieu où l'extrémité la plus élevée de la corde est fixée, on fera passer sur cette poulie une seconde corde à laquelle sera attachée une poulie mobile à croc, laquelle sera placée sur la corde, tendue de manière à pouvoir monter et descendre librement le long de cette même corde; on attache ensuite le fardeau au croc de la poulie mobile. Il est évident que si on tire la seconde corde, il faut nécessairement que le fardeau monte en suivant la direction tracée par la corde tendue.

330. Lorsque la quantité de menus matériaux que l'on doit élever est très-considérable, comme dans l'exploitation des mines,

on fait alors usage des *machines à molettes*, lesquelles sont mues ordinairement par des chevaux, et quelquefois par d'autres moteurs, tels que les hommes, un courant d'eau, ou bien même une machine à vapeur. La machine à moletty est composée d'un cabestan, ou treuil vertical, dont la partie supérieure porte un cylindre, autour duquel s'enveloppe un câble; ce cylindre, qui a ordinairement un diamètre de plusieurs pieds, sert pour diminuer les effets de la roideur de la corde, et la rendre plus pliable; la partie inférieure du treuil est traversée par des barres ou leviers en bois, sur lesquels doivent agir les hommes ou les chevaux destinés à faire tourner le treuil. S'il doit être mu par des chevaux, il faut que chacune de ces barres ait 6 à 7 mètres de longueur, pour que ces animaux puissent circuler commodément et agir avec toute leur vigueur. La corde est fixée par son milieu au cylindre, et porte à chacune de ses extrémités un sceau. Cette corde passe sur deux grandes poulies; lorsqu'un des côtés de la corde s'enveloppe sur le cylindre, l'autre côté se développe. Cette machine est ordinairement placée dans une cabane qui la met à couvert. MM. *Perrier* en ont établi au-dessus des puits de la galerie souterraine que l'on construit à Marly pour le service des pompes à feu qu'on doit y construire; elles sont remarquables par le mécanisme qui en dirige le câble, afin qu'il enveloppe régulièrement le cylindre, et qu'il ne se replie pas sur lui-même. (Voyez figure 3, planche XIX.) Le cylindre $c\,o$ est terminé par une lanterne à fuseaux cylindriques, qui engrène dans une roue K, fixée sur l'arbre $m\,n$, taillée en vis. La vis passe à travers une pièce de bois qui porte un écrou, et qui glisse entre deux systèmes de poteaux jumelles; cette pièce de bois entraîne avec elle une plaque de fer l, qui sert de support aux axes de deux paires de rouleaux, entre lesquelles la corde passe. Le mouvement de rotation du cylindre se trans-

met à la vis, et la vis élève les rouleaux, entre lesquels la corde glisse parallèlement à l'axe du cylindre, et proportionnellement au mouvement de rotation de ce cylindre. On détermine le pas de la vis, qui conduit l'écrou de manière que cet écrou s'élève verticalement d'une hauteur égale à l'épaisseur de la corde, tandis que le cylindre fait une révolution entière. La longueur de la corde à laquelle le sceau est suspendu, détermine la hauteur du cylindre *c o*, sur lequel cette corde doit s'envelopper.

331. La machine que nous venons de décrire sert non-seulement pour élever verticalement les matériaux du fond des puits des mines, mais aussi pour faire parcourir à ces mêmes matériaux les galeries qui viennent aboutir aux puits : pour obtenir ce résultat, on fixe solidement, au fond du puits, une grande poulie de renvoi, sur laquelle on fait passer le câble, qui y descend pour aller s'attacher à une espèce de traîneau où sont placés les matériaux. Souvent même une de ces machines élève perpendiculairement une caisse remplie de matériaux, et en traîne une autre le long d'une galerie : alors le câble, ou la chaîne, qui passe sous la poulie du fond du puits, est attaché au-dessous de la caisse qu'on élève. Quand les galeries sont inclinées, il peut y avoir deux traîneaux, dont l'un monte chargé, tandis que l'autre descend vide.

CHAPITRE V.

Du levage et placement des pièces de charpente.

332. Une chèvre, ou une écoperche, que l'on transporte successivement d'un lieu à un autre, suffit pour élever et placer toutes sortes de pièces de bois verticales. Il faut que la hauteur de la chèvre soit proportionnée à la longueur des pièces qu'on

doit poser. Si cette hauteur était de 10 à 13 mètres, il serait trop embarrassant de dresser cette chèvre par elle-même, comme on pourrait cependant le faire, et comme nous l'avons indiqué (300). On commence par monter une petite chèvre de 5 à 6 mètres, au moyen de laquelle on dresse ensuite avec facilité la grande. On lie la pièce de charpente à élever un peu au-dessus du centre de gravité. Pour plus de sûreté, on fait cet amarrage de manière que le câble environne deux fois cette pièce de bois, laissant une distance entre un tour du câble et l'autre : on attache ensuite à la même pièce une ou deux autres cordes, qui servent à la diriger quand on l'élève et qu'on la pose. Il faut de plus, si la pièce doit rester quelque temps isolée, attacher à sa partie supérieure plusieurs cordes, qu'on amarre ensuite à des pieux, ou à d'autres points fixes, placés à quelque distance tout autour. Ces cordes, que l'on nomme *haubans*, servent pour affermir provisoirement la pièce posée, et l'empêcher de s'incliner d'un côté ou d'autre.

333. Une seule chèvre, ou écoperche, ne suffit pas, dans le cas où la pièce de bois à placer doive être posée obliquement, et à un certain éloignement du point d'élévation : alors, il faut employer au moins deux chèvres, placées à une certaine distance l'une de l'autre, pour avoir deux points de suspension, à chacun desquels on puisse attacher, comme nous l'avons déjà dit (305), le moufle supérieur d'un palan, dont l'inférieur s'amarre à la pièce qu'il s'agit d'élever et de poser obliquement ; de cette manière, on place les fermes des toits les plus compliquées, et les cintres des grandes voûtes. Ce que nous avons dit (305, 306, 307) suffit pour faire comprendre comment on peut, en élevant une pièce de charpente quelconque, la diriger vers l'endroit où elle doit être posée, et lui donner encore tous les degrés d'obliquité qu'elle doit avoir.

334. Lorsqu'on construisit les ponts de Neuilly et de Mantes, dont les travaux étaient dirigés par le célèbre *Perronnet*, on employa des écoperches haubannées pour le levage et le placement des cintres des arches. On en dressa huit pour le levage de chaque cintre du pont de Neuilly, et on y employa en même temps deux ateliers : chaque atelier avait quatre écoperches, deux moulinets, trois crics, et était composé de quatre charpentiers, de dix manœuvres ; quatre étaient employés à barrer à chaque moulinet, le cinquième à retenir la retraite, et les autres à transporter les pièces de bois ; les charpentiers servaient à diriger et à poser ces pièces de charpente. Au pont de Mantes, on n'employa qu'un seul atelier, et on ne dressa que quatre écoperches. Ces écoperches étaient faites avec des pièces de sapin de 12 mètres de longueur, et de 3 à 4 décimèt. de diamètre, placées sur une semelle de 2 mètres de longueur posée en travers du pont de service. Chaque écoperche était retenue par quatre haubans. On avait cloué au haut trois ou quatre taquets pour retenir les cordages, et les empêcher de glisser. Dans le collet était passée l'estrope d'un palan qui devait y être suspendu (98). Une corde, dont un des bouts était attaché à l'estrope du moufle mobile, passait d'abord sur une des deux poulies du moufle supérieur, puis retournait sur la poulie de celui d'en bas, d'où elle allait se reployer ensuite sur l'autre poulie supérieure, et de là descendait, pour repasser sous une poulie de retour, qui était fixée par un taquet au bas de l'écoperche, pour ensuite se rendre sur le treuil d'un moulinet, qui était destiné à faire mouvoir toute la machine. Ces écoperches étaient arrêtées dans le haut par des haubans amarrés à des pieux, que l'on avait battus dans la rivière, de chaque côté et au-delà du pont de service ; ce qui donnait la facilité, en couplant deux de ces machines, d'élever et de transporter les bois à la distance

d'une écoperche à l'autre ; et cela a paru dans l'exécution (dit M. *Perronnet*) d'une manœuvre plus aisée, et moins embarrassante, qu'en se servant des grandes chèvres, et autres appareils usités.

335. C'est dans les constructions navales que l'on a occasion d'élever et de poser les pièces de charpente les plus lourdes et les plus volumineuses. Nous allons indiquer les méthodes qu'on suit communément dans les arsenaux de marine, pour poser l'*étrave*, les *couples de levée*, et l'*arcasse*. Les parties désignées par ces noms, sont celles qui déterminent la forme d'un vaisseau. Chacune d'elles est un assemblage de plusieurs pièces secondaires, qu'il est important de réunir sur le terrain même, pour que l'exactitude de leur exécution, qu'on ne pourrait obtenir qu'avec beaucoup de difficulté en travaillant en l'air, contribue à la perfection du vaisseau. On appelle *étrave* cette pièce courbe qui s'élève sur l'extrémité de la quille, et qui détermine la forme de la proue : *couple* est le nom générique qu'on donne aux ceintres qui forment la carcasse du vaisseau ; ils sont ainsi appelés, parce qu'ils sont composés de deux rangs de bois contigus, assemblés et chevillés ensemble ; on désigne par le nom de *couples de levée*, quelques-uns de ces ceintres qu'on prépare et qu'on assemble sur le terrain, pour les élever en entier. Ces *couples de levée* déterminent la courbure du vaisseau dans toute sa longueur. L'*arcasse* est l'assemblage des pièces de charpente qui forment le squelette de la façade de la poupe.

336. Le levage et le placement de toutes ces pièces se font au moyen des bigues dont nous avons donné la description (299, 300). Pour l'étrave, dont le poids n'est ordinairement que de six milliers, un seul couple de bigues suffit. On amarre, au sommet de ces bigues, des palans et des caliornes. Nous avons déjà dit (97) que ces deux espèces de moufles ne diffèrent

entre elles que par leurs dimensions et le nombre plus ou moins grand de poulies qu'ils contiennent (Voy. fig. 7, planche XVII.) Pour placer l'étrave, on amarre, au sommet des bigues, deux caliornes qui vont aboutir à chaque face latérale de l'étrave, vers son centre de gravité x. On y amarre de plus, deux forts palans qui aboutissent, l'un vers la tête y, et l'autre vers le pied z de cet étrave, sur la surface concave et intérieure. En agissant à propos sur les cables de tous ces palans, on donne à l'étrave les mouvemens qui lui conviennent pour la placer dans la position où elle doit être. Les câbles passent sur des poulies de retour, amarrées sur le grillage de la cale, qui mettent à même de placer autant de monde qu'il est nécessaire. On manie d'ailleurs cette pièce au moyen de plusieurs cordages simples, qui y sont amarrés dans divers endroits.

337. Pour mettre en place les couples de levée, on conduit d'abord ces assemblages sur des rouleaux, jusqu'auprès de la quille; on élève le *talon du couple* qu'on veut placer sur la quille, et on le place au-dessus de l'endroit où il doit ensuite être entaillé : (on appelle *talon du couple*, la partie du milieu qui se trouve à égale distance entre l'extrémité des branches de ce couple). Le talon étant ainsi placé, les extrémités des branches reposent sur le terrain d'un même côté de la quille. Il faut, avant de dresser le couple, faire passer une de ces branches de l'autre côté de la quille; à cet effet, on a des bigues que l'on élève parallélement à la quille, et de chaque côté; les pieds de ces bigues sont enchâssés dans des semelles, et sont liés par une traverse, établie à un mètre et demi au-dessus du terrain : on peut avec facilité faire avancer ou reculer ces bigues, au moyen d'un palan amarré, d'un côté, sur les semelles, et de l'autre, sur quelques points fixes du côté où on veut les faire marcher. On attache les moufles inférieurs des palans qui partent de la tête

des bigues, sur le talon du couple. On attache aussi, en opposition à la direction de ces deux palans, d'autres palans de retenue dans une situation horizontale, et amarrés à quelques points fixes ; tout cet appareil établi, on met en action les palans des bigues, qui élèvent le talon du couple autant qu'il faut pour qu'il ne touche plus la quille. On fait ensuite décrire horizontalement au couple un arc de cercle, dont le talon soit le centre, en amarrant sur les branches d'autres palans, également suspendus aux bigues; on les met en action en laissant immobiles ceux qui aboutissent au talon : alors le couple, se trouvant entièrement en l'air, pirouette sur son talon; mais il faut régler ce mouvement, et en diminuer la violence ; à cet effet, on se sert d'un palan amarré sur la quille, ou sur le grillage un peu de l'arrière, et sur la branche qui doit demeurer du côté où se trouve l'assemblage. Quand le couple se trouve placé à travers la quille, de manière qu'une des branches en soit aussi éloignée que l'autre, il ne reste plus qu'à élever le couple, et à faire prendre à son plan une position perpendiculaire à la quille. On amarre deux palans de la tête des bigues, un à chaque branche du couple; les bouts du câble de chacun de ces palans redescendent et sortent des moufles inférieurs en sens opposé, de sorte qu'on a quatre portions de câble, disposés en sens contraire le long de la quille, auxquelles on applique quatre files d'hommes, qui, en tirant tous en même temps, élèvent les branches de ce couple, et lui font prendre la position qu'il doit avoir perpendiculairement à la quille. Le couple étant suspendu dans cette position, on le manie facilement, et le contre-tenant au-dessus de l'entaille de la contre-quille, dans laquelle son talon doit être inséré, on l'amène en douceur jusqu'à ce qu'il y soit entré.

338. Pour élever l'arcasse des grands vaisseaux, qui pèse de trente jusqu'à cinquante milliers, on se sert de bigues très-fortes;

elles ont un peu d'inclinaison vers l'arrière, et sont contenues par plusieurs palans, faisant fonction d'haubans (Voy. figure 2, pl. XVII). Deux caliornes, à trois roues de cuivre, dans chaque moufle, et trois palans, sont amarrés à la tête des bigues. Ils saisissent l'arcasse sur des amarrages qui doivent être faits dans différens points; savoir, les deux caliornes sur ceux H H, et B B, qui embrassent l'étambot; deux des palans en *a a*; le troisième sur un *taquet* planté vers *p*, et il y a des poulies de retour sur le grillage de la cale. Les bigues sont disposées de façon qu'il ne faut pas que l'arcasse vienne à l'aplomb des caliornes et des palans; il faudrait qu'elles fussent trop ouvertes pour le permettre: ainsi, l'arcasse doit être contre-tenu vers l'arrière. On attache à la lisse d'hourdi I I, à des distances égales, huit palans fixés pareillement sur le bas de la cale, à une bonne distance du vaisseau; les six du milieu servent uniquement à tirer le système de l'avant à l'arrière : celui de chaque côté sert aussi à tirer dans le même sens; mais en l'inclinant un peu vers le côté où il est amarré, au moyen de quoi on est en état de donner à l'assemblage tous les mouvemens, afin de conduire son pied à l'aplomb de la mortaise pratiquée dans la quille, pour recevoir le tenon de l'étambot : il y a encore deux palans attachés sur chaque face latérale de l'étambot; ils sont fixés sur la cale de manière qu'en tirant cette partie, l'un fait faire ce mouvement en l'inclinant vers l'avant, l'autre vers l'arrière. Les câbles de tous ces palans passent dans des poulies de retour. Les autres pièces qui entrent dans la construction d'un vaisseau, sont élevées et posées de la manière que nous avons indiquée (306).

CHAPITRE VI.

Du levage des pierres de taille.

339. La construction des édifices en pierres exige des échafauds qui doivent être plus ou moins solides, plus ou moins spacieux, suivant la qualité des édifices, suivant les poids et les efforts qu'ils doivent soutenir, et suivant le temps qu'ils auront à servir. On distingue deux espèces d'échafauds ; ceux de la première espèce s'appelent *simples*, les autres *d'assemblages*. Les simples sont ceux dont on se sert pour les maisons et autres constructions ordinaires : ils n'ont à supporter que le poids des ouvriers ; on élève perpendiculairement des perches dont on enfonce le pied tant soit peu en terre, ou que l'on retient avec une masse de plâtras et plâtre, scellée à ces perches ; on y en joint d'autres horizontalement, plus courtes, mais fortes, appelées *boulins*, avec des cordages entrelacés, qui les retiennent par un bout, tandis que l'autre, enfoncé de 2 à 3 décimètres dans le mur, y est scellé. Sur ces boulins l'on pose des madriers en travers, en forme de planchers, pour la facilité du service. Ces échafauds se multiplient de 3 mètres en 3 mètres, ou environ, à mesure que les murs s'élèvent, et leur solidité dépend seulement de la quantité de cordages qu'on y emploie et qu'on n'épargne point, et de leur disposition : aussi court-on des risques lorsqu'ils sont mal disposés.

340. Les échafauds d'assemblage. sont ceux qu'on emploie pour les grands édifices : outre le poids des ouvriers, ils ont à supporter celui des pierres de taille et autres pesans matériaux à élever; ils doivent servir de support aux machines, ou bien

aux points de suspension appartenant aux machines au moyen desquelles les matériaux seront élevés; c'est encore sur les planchers de ces échafauds que les pierres de taille seront traînées de l'endroit où elles sont parvenues après leur élévation, jusqu'à l'endroit où elles doivent être posées. Dans les pays où l'on a une abondante quantité de sapin, comme dans le Vénitien, la Lombardie et autres, où l'on trouve facilement des pièces de 10, de 14, et même de 20 mètres de longueur très-droites, très-régulières, et d'un équarrissage proportionné à leur longueur, on fait avec facilité des échafauds, en même temps simples et solides. On n'a pas besoin de cette multitude de *décharges*, de *liens*, de *contrefiches*, ni de ce grand nombre d'entailles, de tenons et de mortaises, qui sont nécessaires pour bien affermir les échafauds que l'on construit à Paris, lesquels sont pour la plupart composés de petites pièces de chêne dont la longueur n'excède pas 3 à 4 mètres. En employant les pièces de sapin qui doivent composer l'échafaud, on évite de pratiquer aucune entaille, pour qu'elles puissent servir à d'autres usages après qu'on l'aura démonté. Les pieds des pièces de bois verticales ou montans de l'échafaud, placés bien d'à-plomb à 4 ou 5 mètres de distance du mur, et à 6 ou 7 mètres entre elles, sont soutenues par de fortes pièces horizontales ou sablières étendues sur le terrain ; ces sablières sont ordinairement goudronnées, pour n'être pas endommagées par l'humidité. Les montans liés entre eux par des *longrines* ou *pieux horizontaux* sont éloignés de 2 à 3 mètres l'un de l'autre; les boulins et les solives qui doivent supporter les planchers, reposent par un de leurs bouts sur les longrines, et de l'autre sur le mur. Lorsque les planchers ont à supporter des poids extraordinaires, on établit des décharges ou des croix de Saint-André.

341. A Paris, les échafauds sont ordinairement composés

de plusieurs rangs de sablières parallèles, placées à la distance de trois mètres l'une de l'autre. Ces sablières sont supportées par des pièces de bois verticales placées entre elles, et éloignées également de 4 mètres : on les appelle *poteaux cormiers*, réunis à tenon et mortaise avec les sablières, chacun d'eux est affermi par des contre-fiches qui le soutiennent par en bas, et trois liens qui l'affermissent par le haut. Les échafauds sont doubles et quelquefois triples et quadruples, c'est-à-dire, ils sont formés de deux façades parallèles semblables, l'une placée à 1 mètre du mur, et l'autre éloignée de 2 à 4 mètres de la seconde ; souvent il y a une ou deux autres façades semblables au-delà du mur ; toutes ces façades sont assemblées et liées entre elles par des entretoises et des croix de Saint-André.

342. Pour épargner le bois, on fait souvent des *échafauds suspendus*. On appelle ainsi, ceux qui sont soutenus sur des pièces de bois mises en travers des murs, de sorte qu'ils n'arrivent pas à s'appuyer sur le terrain. Les pièces saillantes qui supportent l'échafaud doivent être très-fortes, et soutenues convenablement par des liens et des décharges insérés dans des entailles pratiquées au mur. On se sert communément de cette méthode pour la construction des tours, des édifices au bord de l'eau, et lorsqu'on ne veut pas encombrer la voie publique. Le plus considérable *échafaud suspendu* connu, est celui qui a servi pour la construction de la façade de la cathédrale de Milan : il avait près de 70 mètres de hauteur, et, sur ses planchers, on maniait des blocs de marbre pesant dix à quinze milliers.

343. Le levage des pierres de taille se compose de deux opérations. On les élève à la hauteur où elles doivent parvenir, puis on les dirige, et on les conduit à l'endroit où elles doivent être posées. Il y a des cas dans lesquelles on ne peut pas les élever

à la hauteur qui leur convient, tout d'un coup, comme quand on doit ériger une coupole sur un édifice, ou bien une tour, ou toute autre construction éloignée de l'aplomb des murs principaux. Dans de semblables cas, après avoir élevé les matériaux jusqu'à la hauteur de ces murs, et, après les avoir conduits au pied de la construction superposée, on y forme un dépôt pour les élever de nouveau, et les conduire où ils doivent être placés.

344. Le levage des pierres jusqu'à la hauteur de 7 à 8 mètres, n'exige pas un échafaud; des chèvres ou des écoperches, que l'on fait avancer avec facilité d'un lieu à un autre, suffisent dans ce cas; c'est ainsi que l'on construit les rez de chaussées de la plupart des édifices; on n'a besoin alors que de cette espèce d'échafauds volans; que nous avons décrits (339), et qui ne servent qu'à supporter les ouvriers. En Italie, et spécialement à Rome et à Florence, on épargne souvent, même dans la construction des grands édifices, les échafauds d'assemblage, en se servant de très-longues écoperches, qui ont quelquefois 20 à 24 mètres de hauteur, et qu'on fait passer d'un lieu à un autre, en les plaçant sur une semelle, soutenue par des rouleaux. Pour fixer la machine, on ôte les rouleaux, et on y substitue des pièces de bois plates. Souvent, au lieu d'environner entièrement les édifices en construction, par des échafauds d'assemblages, il suffit d'en établir quelque portion de distance en distance, pour servir de support aux machines, ou aux points d'appui des machines; alors de légers échafauds volans sont intermédiairement disposés entre ces portions, et les murs mêmes servent de planchers pour le transport horizontal des pierres, jusqu'à l'endroit de la pose.

345. En Italie, dans les grandes constructions, le cabestan, combiné avec des moufles, est préféré pour le levage des pierres

de taille ; il arrive très-rarement qu'on emploie d'autres machines à cet usage. En France, on se sert communément de roues à chevilles, ou à tambour, ou bien quelquefois encore, de treuils à engrenages. On peut alléguer de bonnes raisons en faveur de l'une et de l'autre méthode ; mais je ne puis m'empêcher de donner la préférence à la première. Un cabestan, à cause de son extrême simplicité, est peu coûteux ; il a une longue durée, il n'exige que rarement des réparations, et ces répations sont de peu d'importance ; il occupe un petit espace ; on le transporte, et on l'établit avec facilité partout où on le juge convenable. Il est évident qu'un treuil à roue, soit à chevilles, soit à tambour, ne jouit pas de tous ces avantages ; la roue, étant composée d'une multitude de petites pièces d'assemblage, est sujette à se déjeter, à se disloquer, et à éprouver de fréquens dérangemens. Lorsqu'on doit transporter la machine d'un lieu à l'autre, étant volumineuse et pesante, il faut la démonter pour la remonter ensuite, ce qui entraîne de la dépense et une perte de temps ; pour être placée, il lui faut un échafaud spacieux et solide ; enfin, une semblable machine ne peut jamais avoir une longue durée. Ajoutez à tout ce que nous venons de dire la dépense de sa construction, qui est incomparablement plus forte que celle du cabestan, et il faudra convenir que, sous ce point de vue, le cabestan simple est préférable au treuil à roue. Mais d'un autre côté, l'expérience démontre qu'un seul homme appliqué à une roue à chevilles, dont le diamètre soit douze fois plus grand que celui de son treuil, peut soulever un fardeau du poids d'un millier, tandis que le même homme, appliqué à l'extrémité du levier d'un cabestan, dont le rayon soit aussi le douzième de la longueur du levier, n'élèvera qu'un poids d'à peu près 350 livres : de manière qu'il faudra au moins trois hommes au cabestan pour produire, à circonstan-

ces égales, l'élévation du même fardeau, qu'un seul homme aurait élevé avec une roue à chevilles. Cet avantage des treuils à roues paraît au premier abord d'un grand poids; mais un examen attentif le rend plus illusoire que réel. Effectivement, la même expérience qui démontre qu'un homme seul, au moyen de la roue à chevilles, élève le même poids que trois avec le cabestan, démontre aussi que cet homme travaille avec bien plus de lenteur que les trois autres : de sorte, qu'à la fin de la journée, son travail, comparativement à celui des autres, n'en est que le tiers. Ainsi donc, l'avantage du treuil à roue se réduit maintenant à celui de n'avoir besoin que d'un petit nombre d'ouvriers pour être manœuvré, avantage qu'on ne peut obtenir du cabestan qu'en le combinant avec des moufles; mais l'effet total produit est à peu près le même avec l'une comme avec l'autre machine. La nécessité de combiner le cabestan avec des moufles pour diminuer le nombre des ouvriers nécessaires à sa manœuvre, au lieu d'être un inconvénient, produit au contraire un avantage très-précieux, c'est que le fardeau, au moyen des moufles, est soutenu par plusieurs portions de la corde, qui se replie sur elle-même en passant d'une poulie à l'autre : de sorte qu'il est bien plus solidement suspendu qu'il ne peut l'être, quand on l'élève avec une roue à chevilles, et qu'une seule branche de corde le soutient; aussi les accidens sont-ils bien plus fréquens que quand on se sert des cabestans. Deux autres raisons me déterminent encore à donner la préférence à la combinaison du cabestan avec les moufles : la première, est qu'on peut établir le cabestan dans le lieu que l'on trouvera le plus convenable, ou dans l'intérieur de l'édifice, ou sur le terrain qui l'environne, sans être obligé de former aucune charpente pour le soutenir; il suffit d'établir des poulies de renvoi, pour le mettre en communication avec les moufles, quel que soit

l'emplacement qu'il occupe. La seconde raison, est que l'on peut y employer des chevaux pour le faire tourner. Il ne faut pas ici dissimuler une circonstance, qui n'est pas certainement favorable au cabestan : c'est que, si parmi les ouvriers qu'on emploie à sa manœuvre, il y en a quelques-uns de paresseux et de mauvaise volonté, et s'ils ne sont pas surveillés de la manière la plus active, ils se négligent, et font très-peu de travail ; au lieu que, lorsqu'ils opèrent sur une roue à chevilles, ou dans une roue à tambour, il faut que malgré eux ils agissent avec vigueur, puisque, dans ce cas, c'est le poids de leur propre corps qui produit l'action.

346. Quand on veut se servir du cabestan pour élever des fardeaux, on doit surtout bien réfléchir à la manière d'établir avantageusement le point de suspension auquel sera fixé le moufle supérieur du palan qui soutiendra le fardeau. M. *Crovato*, dont nous avons parlé (122), étant entrepreneur de la construction d'une partie du palais royal de Venise, fit usage de la combinaison des cabestans avec les moufles, pour élever les pierres de taille employées dans cet édifice, dont plusieurs pesaient dix à douze milliers : ce mécanicien établit, dans cette occasion, le point de suspension des moufles d'une manière aussi avantageuse qu'ingénieuse. Le moufle supérieur était placé sur un petit chariot, lequel était lui-même placé sur un châssis de 4 mètres de longueur, et d'une largeur un peu plus forte que celle du chariot; le châssis était posé en travers sur l'échafaud qui environnait l'édifice, et on pouvait, avec la plus grande facilité, le faire passer d'un lieu à l'autre. Chaque moufle avait quatre poulies, et le câble passait et repassait du moufle fixe au mobile, de manière que les deux bouts sortaient du moufle fixe pour aller s'envelopper sur le cabestan, après avoir passé sur des poulies de renvoi qui en réglaient la direction. Cette méthode

de combiner un seul palan avec deux cabestans, donne au mouvement une régularité, une douceur et une facilité qu'on ne saurait obtenir en se servant d'un seul cabestan, comme on le pratique communément; d'ailleurs les deux cabestans permettent d'employer sans confusion plusieurs ouvriers, et de les faire tous agir sur les leviers à des points également avantageux. Le petit chariot était mobile le long de son châssis, à l'extrémité duquel était un petit treuil; deux cordes venaient s'envelopper en sens contraire sur ce treuil: la première, attachée à la partie postérieure du chariot, passait sur une poulie de renvoi fixée à l'extrémité du châssis opposée au treuil; l'autre, passant de la partie antérieure du même chariot, venait directement aboutir au treuil. Il est évident qu'en faisant tourner ce treuil dans un sens, le chariot avançait, et, en le faisant tourner en sens opposé, il reculait. Par ce moyen, après avoir élevé perpendiculairement une pierre, on la conduisait à l'aplomb du mur où elle devait être posée. Cette méthode de M. *Crovato* m'a paru expéditive, simple, avantageuse et digne d'être imitée.

347. A la nouvelle bourse de Paris, en construction, le levage des pierres de taille se fait au moyen des *cabestans à manége*, mus par des chevaux; cette méthode est avantageuse si le travail du levage doit être considérable et continu; car un bon cheval, à un cabestan, fait à peu près l'ouvrage de sept manœuvres; dans le cas que le travail ne soit pas assez actif pour y employer un cheval, on peut appliquer des manœuvres à ces mêmes cabestans. Huit cabestans font le service de levage à cette construction; deux sont placés à chaque angle de l'édifice, dont le plan a la forme d'un parallélogramme; les palans combinés avec ces cabestans sont suspendus à de doubles chèvres placées sur le plancher de l'échafaud, où l'on peut les faire avancer et reculer suivant le besoin; plusieurs

poulies de renvoi servent à diriger convenablement le câble, pour qu'il aille directement s'envelopper sur le treuil, quelle que soit la position de la double chèvre : j'appelle double chèvre une espèce de pyramide formée par quatre montans obliques réunis au sommet.

348. Dans la plupart des édifices de Paris, le levage est effectué par des *chèvres*, des *singes* ou des *grues* placés sur les planchers des échafauds d'assemblage. Voici les observations de M. *Gauthey* sur le travail du levage des pierres de taille, au moyen d'une chèvre, en y comprenant le temps nécessaire pour brayer la pierre, ou l'attacher à la corde qui la soulève, celui du levage proprement dit, et celui qu'il faut pour détacher le cordage et le redescendre au pied de la machine. La chèvre est manœuvrée par deux *brayeurs :* on appelle ainsi les ouvriers qui lient la pierre, la dirigent pendant qu'elle monte, et commandent les garçons de chèvre ; le nombre de ces derniers varie suivant la grosseur des blocs. On peut admettre, dit M. *Gauthey* (la pesanteur spécifique étant de 140 livres le pied cube) qu'il en faut un pour 0, 125 mètres cubes de pierre. Si le volume des blocs est de 0, 5 mètres, la chèvre sera servie par quatre garçons ; elle le sera par 8 si le volume des blocs est d'un mètre. Une grosse pierre n'est pas sensiblement plus difficile à brayer et à débrayer qu'une petite, et le temps qu'exige cette opération est moyennement d'une demi-heure. Quant à la vitesse de l'ascension, elle a été observée d'un mètre pour 6 minutes, en supposant les hommes chargés comme il a été dit ci-dessus. L'effet qu'on obtient en se servant du singe est bien plus avantageux ; mais aussi on ne peut pas employer cet appareil volumineux comme on emploie la chèvre dans les grandes et dans les petites constructions, sur les échafauds, sur les murs et sur le terrain ; le plus grand effet ne suffit pas dans toutes les circonstances

pour déterminer à donner la préférence à une machine. Le singe (Voyez fig. 2, 3, Planche XII) n'est autre chose qu'un treuil horizontal à roues à chevilles, placé sur ses supports de charpente. A l'égard des grues, nous avons déjà exprimé nos doutes sur l'avantage réel de leur emploi.

349. La méthode que l'on adopta pour le levage et la pose des pierres de taille et des voussoirs du pont de Neuilly, et de celui de Louis XVI, est fort simple. Une charpente, d'une hauteur proportionnée à celle des cintres mesurés depuis le dessus du pont de service, servait de base à une machine nommée singe (Voyez fig. 2, 3, Planche XII); elle était composée d'un treuil et de deux roues à chevilles, portées sur des chevalets. Le bâtis de charpente était posé sur des rouleaux qui donnaient la facilité de le faire avancer à proportion de la pose des assises; à mesure que le chariot chargé de pierres arrivait sous le treuil, on le brayait; on accrochait l'S du câble au *brayet* (on appelle ainsi le câble qui environne la pierre) et quatre hommes, dont deux à chaque roue d'une même machine, enlevaient aisément une pierre pesant 5 milliers; lorsque cette pierre était arrivée à environ un mètre et demi plus haut que l'endroit où elle devait être posée, un ouvrier mettait deux madriers dessous, ensuite deux rouleaux; les hommes appliqués aux roues lâchaient doucement le câble, et, au moyen de la pente qu'on donnait aux madriers, la pierre arrivait sans peine à l'endroit où elle devait être posée; pour lors les poseurs lui donnaient quartier, en se servant pour cela de deux crics, et la mettaient en place.

350. Au pont de Mantes, le levage de la pierre de taille et la pose des voussoirs se firent de cette autre manière; on se servit de quatre grandes chèvres de sapin de 24 mètres de hauteur, formées chacune par un grand mât vertical contre-buté de chaque côté par deux ranchers ou pieux de bois obliques, assemblés

sur une semelle longue de 6 mètres : le mât et les ranchers étaient entretenus par cinq doubles moises ; au haut du mât, on avait chevillé trois ou quatre taquets, pour y former une espèce de collet qui retenait les cordages et les empêchait de glisser, et dans ce cordage on avait passé les estropes de deux moyens palans, de 6 décimètres de hauteur de chape, et de 3 décimètres de largeur ; lesquels étaient suspendus sur le derrière de la chèvre. Deux haubans amarrés à des retenues venaient passer sur les poulies de ces palans, puis descendaient s'entortiller sur deux treuils placés au bas de la chèvre pour servir à l'haubanner. Quatre de ces chèvres étaient placées à 2 mètres près de la tête des arches ; les écoperches étaient équipées de gros palans dans le collet de chacune d'elles ; la *chape* avait 10 décimètres de haut sur 5 de large et 3 d'épaisseur, et la poulie 4 décimètres de diamètre, et un décimètre d'épaisseur. Chaque écoperche avait son cabestan ; la pierre étant arrivée au pied de l'écoperche sur son chariot, on la brayait, et douze manœuvres appliqués au cabestan la montaient ; pendant ce temps, deux autres hommes placés sur le cintre de charpente, transportaient, vers la pierre que montait le palan de l'écoperche en action, le moufle mobile d'un palan de l'autre écoperche ; lorsque la pierre était arrivée à la hauteur du dessus du cintre, on accrochait ce palan à celui auquel elle était suspendue ; on faisait ensuite tourner le second cabestan, en lâchant peu à peu le câble du premier pour amener la pierre où elle devait être posée ; puis, avec un moulinet placé sur une pile du pont, trois ou quatre ouvriers la rappelant sur le tas, on faisait lâcher ensemble les deux cabestans, et la pierre venait se placer sur les couchis, à peu près au lieu de sa destination. Ainsi, au moyen de deux, et aussi de quatre de ces chèvres, on pouvait transporter, dans l'intervalle de l'une à l'autre, les pierres, soit

directement, soit par diagonale, en les faisant manœuvrer ensemble.

351. Pour la construction des piles du pont des Arts, on se servit d'un appareil semblable à celui qui fut employé au pont de Neuilly, mais cet appareil était placé sur un bateau. Au pont de Saint-Maxence on disposa également sur un bateau un échafaud et une machine appelée *singe*; le singe reposait immédiatement sur le bateau, et l'échafaud servait pour y établir une poulie fixe, sur laquelle passait le câble qui élevait le fardeau. Au pont d'Orléans, pour construire les arches, on plaça sur le pont de service, de petites grues, avec lesquelles les premiers voussoirs furent posés. Les voussoirs supérieurs l'ont été avec de plus grandes grues : on les avait premièrement établies sur le milieu des cintres; mais on les rapporta sur les piles, parce que l'on s'aperçut que la manœuvre des grues ébranlait trop les cintres. Pour construire le pont de Moulins, les cintres étant très-fixes et très-solides, on a pu établir le pont de service sur ces cintres; il était formé par un plancher de niveau, plus élevé que le sommet des voûtes, et porté sur des supports qu'on déplaçait suivant que l'exigeaient les progrès de la maçonnerie. Sur ce plancher étaient établies de doubles chèvres, formées par deux chèvres accolées. La figure 4 (planche XVIII) qui représente une de ces chèvres, sous lesquelles des chariots amenaient la pierre, qui la soulevaient et la descendaient par une ouverture pratiquée dans le plancher à la place qu'elle devait occuper. Le service, fait ainsi, offrait une telle facilité, qu'on a pu cintrer et décintrer une arche en quinze jours.

352. Le service de la maçonnerie des voûtes du pont des Invalides a été fait d'une manière très-prompte et très-avantageuse. Le pont de service établi à côté du pont, sur toute la longueur,

était élevé un peu au-dessus du sommet des cintres. On amenait le chariot qui portait la pierre, près de ce sommet, et on le faisait tourner et avancer sur le cintre. Arrivé vis-à-vis l'endroit où la pierre devait être posée, le chariot tournait une seconde fois, et on établissait deux *coulottes* en sapin, sur lesquelles la pierre glissait du plateau du chariot jusqu'à sa place; alors, au moyen d'une double chèvre, établie sur un échafaud volant, porté sur le cintre, la pierre était soulevée et redressée, ce qui donnait la facilité de la poser. Le pied des doubles chèvres était garni de rouleaux, pour qu'elles pussent facilement se mouvoir sur leur échafaud, dans le sens de la largeur du pont. On changeait cet échafaud de place, suivant que l'exigeaient les progrès de la pose. Au moyen de ces dispositions, les cinq voûtes, de 28 mètres d'ouverture, ont été construites ensemble en 28 jours. Si les cintres sont solides, et si toutes les voûtes doivent être construites ensemble, ce qui suppose nécessairement au travail la plus grande activité, il paraît que la méthode que nous venons de décrire, et que M. *Lamandé* a mise en usage avec beaucoup de succès au pont des Invalides, est la meilleure; mais si les cintres n'étaient pas très-solides, et n'offraient pas une fixité parfaite, il y aurait du danger, comme le remarque très-bien M. *Gauthey*, dans son *Traité de la construction des ponts;* il y aurait du danger, dis-je, à leur faire passer des chemins sur lesquelles la pierre serait continuellement voiturée.

353. Plusieurs savans ont dirigé leurs investigations vers la méthode que les Égyptiens ont suivie pour effectuer le levage et la pose de la quantité énorme de pierres dont leurs pyramides sont composées; la plupart se sont laissé égarer par les récits évidemment fabuleux, qu'*Hérodote* et *Pline* nous ont transmis. *Pline* nous dit d'abord que des personnes croyaient qu'on avait formé autour de la pyramide, des

plans inclinés immenses, avec du nitre, qu'on agrandissait ces plans inclinés, à mesure que la pyramide s'élevait; et, qu'après qu'elle avait été achevée, on y avait conduit l'eau du *Nil*, au moyen de quelques canaux, qu'elle avait entraîné et dissous le nitre. Il ajoute ensuite que d'autres personnes supposaient que l'on avait construit des ponts en briques, pour servir de chemin, que les matériaux devaient parcourir jusqu'aux endroits de la pyramide où ils devaient être posés; et que, quand la pyramide fut finie, ces mêmes briques avaient servi à la construction d'autres édifices. *Hérodote*, rapporte que le revêtement extérieur de la pyramide en gros blocs de pierre, avait été fait en élevant, avec des leviers et autres intrumens, ces blocs d'une assise à l'autre. De ces trois récits, il n'y a que le dernier qui ait quelque vraisemblance. Mais il n'est pas probable qu'un peuple aussi industrieux que les Égyptiens, ait fait usage d'un moyen si pénible et si long, tandis qu'il pouvait employer une méthode infiniment plus simple et plus facile. Qu'on suppose qu'ils aient laissé au centre de la pyramide, une grande ouverture du haut en bas. (La plupart des auteurs, qui ont écrit sur les pyramides, s'accordent à constater l'existence de cette espèce de puits.) Qu'on suppose de plus, qu'ils aient pratiqué des galeries communiquant avec le même puits, on comprendra avec quelle facilité ils pouvaient élever, par ce puits, tous les matériaux, et les diriger ensuite horizontalement vers les endroits où ils devaient être posés. On peut supposer ensuite, qu'une partie de ce puits, et les galeries, ont été comblés avee les éclats de pierres, et les débris de matériaux qui devaient rester de la construction; et, de cette manière, sera aussi expliqué le fait singulier, que l'on ne retrouve, dans les environs de ces pyramides, aucun de ces débris.

354. Le levage, et la pose des deux énormes blocs qui forment le recouvrement du fronton du magnifique péristyle du Louvre, est une des opérations les plus remarquables de ce genre. La figure 1 (planche XIV), indique l'appareil qui fut employé. Chacun de ces blocs, dont le poids était d'environ 80 milliers, avait 23 mètres de long, près de 3 mètres de large, et un demi-mètre d'épaisseur. Sur un solide échafaud, qui surpassait la hauteur du fronton, était placé un châssis *a*, d'une longueur et d'une largeur égales à celles des blocs qu'on devait élever. Ce châssis était soutenu par deux chariots *c c c* à rouleaux, de manière, qu'en faisant tourner les rouleaux, on pouvait faire avancer et reculer le châssis dans le sens de sa largeur. Huit moulinets *b b b* étaient placés à distances égales sur le châssis. Dans chacune des pièces longitudinales du châssis, étaient insérées 24 poulies 2 2 2, dont trois correspondaient à la place occupée par chacun des moulinets. Sur la partie supérieure de la pierre à élever était placé un autre châssis *d d d*, assujetti à cette pierre au moyen de huit forts amarrages de cordages *fff* à plusieurs doubles. Les pièces longitudinales de ce châssis avaient aussi, comme celles du premier, 24 poulies chacune. Seize câbles, dont un des bouts était lié au châssis supérieur, après avoir passé alternativement sur les poulies du châssis d'en bas, et sur celles du châssis d'en haut, allaient s'envelopper sur les moulinets, de manière qu'à chaque moulinet correspondaient deux câbles, dont chacun passait sur six poulies. On éleva la pierre jusqu'à une hauteur un peu plus grande que celle où elle devait être posée; ensuite l'ayant bien assujettie en arrêtant les câbles qui la soutenaient; on fit, avec des leviers, tourner les rouleaux posés au-dessous du châssis, et on le fit ainsi avancer avec toute sa charge, jusqu'au-dessus précisément de l'emplacement

destiné à la pierre ; ensuite, en lâchant peu à peu les moulinets, on la posa à demeure.

355. Pour bien effectuer le levage et la pose des pierres de taille, il est essentiel de connaître les meilleures méthodes de brayer ou de suspendre les pierres que l'on veut élever. On en distingue d'abord trois principales. La première est de faire passer le *brayet* sous la pierre, et ensuite de l'accrocher au palan ou au câble simple qui doit soulever la pierre : on appelle *brayet* un câble fort, mais souple, dont les deux bouts sont épissés, c'est-à-dire réunis ensemble. La seconde, est d'accrocher le brayet à des tenons, ou parties saillantes, laissées à la pierre pour cet effet. La troisième, est de se servir de la louve ou de la tenaille. Les figures 2 et 5 (planche XVII) représente deux manières de brayer, ou suspendre une pierre, qui sont le plus en usage ; elles sont si simples, qu'elles n'ont pas besoin d'explication.

Il faut remarquer que si le *brayet* passe sous la pierre à soulever, on ne peut la déposer immédiatement sur son lit ; il est nécessaire de la placer d'abord sur des cales, assez élevées pour qu'on puisse retirer le brayet, et ensuite de la soulever un peu avec des leviers de fer, pour ôter les cales, et la poser définitivement : c'est pour éviter cet inconvénient, que l'on a imaginé les méthodes des tenons et des louves. Parmi les débris des édifices antiques, on voit encore un grand nombre de pierres qui conservent les tenons qui ont servi à les élever. Dans les ruines de Sélinunte et d'Agrigente, on retrouve, entre autres choses, les restes de deux des plus grands temples antiques que l'on connaisse, l'un desquels, appelé le temple des Géans, ayant eu des colonnes de douze pieds de diamètre, était composé de très grands blocs : on remarque que pour brayer ces blocs on avait pratiqué sur leurs faces latérales des rainures, ou entailles en

forme d'anse de panier (Voy. figure 10, planche XVII). Ces rainures avaient 15 centim. de profondeur, et servaient pour y loger le *brayet*, qui de cette manière n'était saillant aucune part hors de la surface de la pierre; on pouvait immédiatement poser cette pierre, quoiqu'elle dût se trouver resserrée, au milieu d'autres déjà posées, et on retirait sans difficulté le brayet, après qu'elle était à sa place. Dans d'autres ruines, on trouve des pierres avec des trous, qui ont servi évidemment pour y placer une *louve*, ou bien une tenaille. On appelle *louve* un instrument de fer, avec lequel on accroche des pierres pour les enlever; cet instrument est fait de manière qu'il retient d'autant mieux la pierre, qu'il en ressent davantage le poids. La louve doit être formée avec du bon acier, ou du moins du fer bien raffiné. La fig. 1 (planche XVII) représente une louve dont on se sert beaucoup en Italie, et qu'on dit avoir été inventée par le célèbre architecte *Bruneleschi*; elle se met dans un trou qui doit être creusé dans la partie supérieure de la pierre, plus large par le fond qu'à l'entrée. On met dans ce trou les deux coins A et B., dont la partie la plus large est vers le bas. Au milieu de ces coins, on en met un troisième C, qui n'est pas plus large en bas qu'en haut, mais qui est fait pour écarter les deux autres, et les serrer contre les côtés du trou. Ces trois coins sont percés dans le haut, et enfilés avec l'anse I D L, par la cheville I L, qui a une tête L, et une pointe I, arrêtée par une clavette. Ces trois coins, ainsi joints ensemble, forment une queue d'hirondelle, qu'il est impossible de faire sortir de la pierre, si on n'ôte le coin C, qui est au milieu. On se sert en France d'une louve (fig. 4) plus simple : au lieu de six pièces de fer, dont la précédente est composée, elle n'en a que trois, qui sont un fer à queue d'hirondelle A, garni d'un anneau B, qui tient lieu d'anse, et deux coins C et D, qui sont égaux, et aussi larges à

un bout qu'à l'autre. Pour se servir de cette louve, on fait un trou de même que pour l'autre, lequel a par le haut la largeur du bas de la queue d'hirondelle A, et qui, par le bas, outre cette largeur, a encore celle des deux coins. La queue d'hirondelle étant enfoncée, on y met des deux côtés les coins, qui font le même effet que si la queue d'hirondelle était élargie, comme elle l'est dans l'autre louve par le coin du milieu.

356. *Vitruve* parle d'une espèce de tenaille, avec laquelle on suspendait les pierres à élever; *Perrault* supposait qu'elle avait la forme indiquée par la figure 11 (planche XVII). On voit que suivant cet auteur elle était composée de deux pièces de fer *a d*, *b c*, jointes au milieu par un boulon, comme des ciseaux ou des tenailles ordinaires. Ces pièces étaient un peu recourbées par le bas, pour serrer la pierre, et elles avaient chacune un anneau dans le haut, afin que la corde *e*, étant passée dans ces anneaux, fît approcher, en tirant les deux branches d'en haut, et serrer, par conséquent, les deux branches d'en bas. *Perrault* convient lui-même que cette tenaille offre peu de solidité, et qu'elle peut laisser tomber la pierre, pour peu que les branches, qui doivent être longues et faibles, viennent à s'écarter en pliant, ce qui peut arriver si le poids du fardeau est très-fort. M. *Piranesi* pense avec raison que les tenailles dont parle *Vitruve*, devaient avoir la forme indiquée par la figure 8 (planche XVII), ou celle de la figure 9. M. *Piranesi* suppose qu'il y avait dans ces tenailles une ouverture *m*, pour y introduire un boulon qui aurait empêché le rapprochement des branches.

357. Parmi les pierres que l'on trouve dans les ruines antiques, il y en a qui n'ont qu'un seul trou dans la partie supérieure; d'autres, en ont deux. *Perrault* a cru que dans ces trous, on introduisait les branches d'une même tenaille; M. *Piranesi* a pensé avec plus de vraisemblance qu'on introduisait séparément

dans chacun une louve ou une tenaille semblable à celles que nous venons de décrire.

358. M. *Piranesi* a retrouvé dans les ruines du monument de *Cecilia Metella* apellé *Capo di Bove*, hors des portes de Rome, deux pierres de taille qui vraisemblablement n'avaient jamais été posées, dans lesquelles il observa, d'un côté, un trou, et de l'autre côté correspondant, un tenon très-remarquable, parce qu'on avait pratiqué dans ce tenon même un trou semblable à celui du côté opposé, lequel trou n'arrivait que jusqu'à l'aplomb de la surface du côté de la pierre où il se trouvait. Cette découverte lui fit conjecturer avec beaucoup de probabilité, que, dans ces trous qui avaient la forme indiquée en *a b* figure 6 (Planche XVII), on insérait deux forts crochets de fer, qui s'entrelaçaient dans le haut et qui servaient à suspendre la pierre. Le trou qui pénétrait dans l'intérieur de la pierre devait se trouver sur le côté qui aurait été inséré dans le massif de la maçonnerie, et le tenon avec son trou devait être placé sur le parement extérieur, de manière qu'en faisant ensuite disparaître ce tenon, il ne serait resté de ce coté aucune trace de trou. Au lieu des crochets imaginés par M. *Piranesi* pour être insérés dans les trous de la pierre et la soutenir en l'air, on pourrait supposer que c'était les branches d'une tenaille qui remplissaient le même office.

359. Quelle que soit la méthode qu'on emploie pour élever les pierres de taille, il faut prendre toutes les précautions nécessaires pour ne pas les dégrader. En les brayant, on ne doit pas négliger d'interposer des coussinets de paille ou d'autre matière flexible entre la pierre et le câble qui la suspend, et surtout dans les angles. En les élevant ensuite, on doit observer qu'elles n'aillent frapper contre quelque traverse de l'échafaud, ou contre quelque partie saillante de l'édifice; à cet effet, on atta-

che à la pierre une ou deux cordes qui, étant retenues par des ouvriers destinés à cela, servent à diriger la pierre et à l'éloigner de tous les endroits où elle pourrait choquer. Quand il s'agit d'élever des pierres sculptées ou considérables par leur volume, on place un ouvrier sur la pierre même qui, en la suivant dans sa marche, est toujours en état de pouvoir bien la diriger. Au moment de la pose, on doit être attentif à ne pas écorner la pierre en la maniant avec des leviers de fer; une des meilleures précautions que l'on prend dans ces circonstances, est de poser, entre le levier et la pierre, des lames de plomb.

CHAPITRE VII.

De l'érection des colonnes et des obélisques de grande dimension.

360. LA plus grande colonne monolithe qu'on connaisse maintenant est celle d'Alexandrie, dite de Pompée; elle est du plus beau granit rouge. Sa hauteur est de 21 mètres, le diamètre de sa base est de 3 mètres, celui d'en haut de 2 mètres 3 décimètres; ces dimensions produisent un cube du poids de 577,405 livres. Les colonnes de granit du portique du Panthéon, à Rome, qui sont aussi monolithes, ont 12 mètres de hauteur, et le poids d'à peu près de 90 milliers. Celles de la place de Saint-Marc, à Venise, qui sont également de granit égyptien, ont des dimensions un peu plus fortes.

361. L'érection des grandes colonnes monolithes s'effectue de la même manière que celle des obélisques. La colonne Antonine à Rome, quoiqu'elle soit composée de plusieurs blocs, fut, en 1705, déplacée et érigée de nouveau, comme si elle eût été monolithe. On l'avait, à cet effet, enveloppée d'un très-

fort revêtement en bois, consolidé extérieurement par de très-gros cercles et de longues barres de fer, placées parallèlement, suivant la longueur de la colonne, et retenues par ces mêmes cercles; avant de placer ce revêtement, on l'avait entourée d'un grand nombre de nattes et d'autres matières flexibles pour que les bas-reliefs qui sont sculptés sur sa surface, ne fussent pas endommagés. Pour son déplacement et son replacement, on forma un échafaud plus élevé qu'elle et très-solide, construit à peu près comme celui que nous avons décrit (302), et qui est représenté par les figures 1, 2, 3 (planche XII). Sur le sommet de cet échafaud étaient amarrés plusieurs moufles qui se combinaient avec des cabestans, et c'est avec cet appareil que l'on effectua cette opération. L'érection des obélisques que l'on admire à Rome maintenant, a été effectuée à peu près de la même manière, du temps de *Sixte V*, par *Domenico Fontana*; nous allons bientôt donner la description circonstanciée des opérations qui furent exécutées pour l'obélisque du Vatican, qu'on érigea le premier. Cette description indiquera plus particulièrement comment on doit opérer dans de semblables circonstances.

Il paraît que les anciens mirent en usage à peu près les mêmes moyens pour ériger leurs obélisques, c'est-à-dire, qu'ils se servirent d'un très-robuste échafaud, dont la partie supérieure devait servir de point de suspension à un grand nombre de moufles amarrés à l'obélisque étendu sur le terrain dans l'intérieur de l'échafaud, et combinés avec des cabestans, ou bien avec des treuils horizontaux à roues à tambour, ou à roues à chevilles. La description qu'*Ammien Marcellin* (liv. 17, chap. 4) donne de l'érection de l'un des plus grands obélisques de Rome, me semble l'indiquer clairement. Après avoir parlé du transport de cette masse énorme depuis l'Égypte jus-

qu'à Rome, *Ammien Marcellin* dit (a) : « Il restait à l'ériger, ce qu'on espérait à peine pouvoir exécuter. Après avoir dressé, non sans péril, de hautes poutres, dont le nombre ressemblait à une forêt, on y attacha de longs et de gros câbles, qui, s'entrelaçant comme une trame, dérobaient, par leur épaisseur, la vue du ciel. Cette masse fut ensuite insensiblement élevée en l'air, et après y avoir été long-temps suspendue, à l'aide de plusieurs milliers d'hommes, qui semblaient tourner des moulins, on la plaça au milieu du grand cirque. »

362. Sur le piédestal de l'obélisque de la place de l'Hippodrome, à Constantinople, on remarque deux inscriptions, dont une grecque et l'autre latine; elles indiquent que cet obélisque fut élevé en trente-deux jours par les soins de Proclus; un bas-relief inséré dans le même piédestal représente, quoique très-grossièrement, les moyens dont on se servit pour ériger cet obélisque, qui a 25 mètres de hauteur (Voyez fig. 14, Pl. XIII). On y observe des cabestans avec des cordages, correspondans à l'obélisque; quatre hommes, appliqués aux leviers de ces cabestans les font tourner; un autre homme, assis par terre, tire le câble pour le faire filer, comme on le pratique encore dans l'usage du cabestan. Derrière l'obélisque, on voit une grande roue, à laquelle le pied de l'obélisque paraît assujetti; on ne voit, d'ailleurs, l'indication d'aucune espèce d'échafaud, ce qui semblerait indiquer qu'on ne s'en est pas servi dans cette érection, et qu'on y a suppléé par le moyen de la roue placée au pied de l'obélisque.

(a) Sola post hæc erectio restabat, quæ vix aut ne vix quidem sperabatur posse compleri : erectisque usque periculum altis trabibus, ut machinarum cerneres nemus, innectuntur vasti funes et longi ad speciem multiplicium liciorum cœlum densitate nimium subtexentes; quibus colligatus mons, paulatimque id per arduum inane protentus, diu pensilis, hominum millibus multis tanquam molendinarias rotantibus metas, caveâ locatur in mediâ.

Pour bien comprendre comment par ce moyen on a pu l'ériger sans avoir besoin d'échafaud (Voyez fig. 15, Planche III), soit *a b* l'obélisque à ériger : qu'on adapte solidement à sa base une grande roue, et qu'à cet effet on creuse, auprès de l'obélisque, un fossé où la partie inférieure de la roue puisse se loger ; il faut que cette roue ait de très-forts tourillons, et qu'ils soient placés sur de solides supports fortement contrebutés, dans le sens de la longueur de l'obélisque. Qu'on suppose maintenant que de gros câbles environnent la roue et aillent aboutir à des appareils composés de cabestans combinés avec des moufles, il est évident qu'en faisant tourner les cabestans, il faut nécessairement que les câbles qui environnent la roue, se développent, et ils ne peuvent le faire, si la roue ne tourne et si en même temps l'obélisque ne se dresse. Ce procédé exige une force motrice bien plus considérable qu'en se servant d'un échafaud ; car, si le diamètre de la roue était la moitié de la longueur de l'obélisque, il faudrait que la force motrice fût équivalente à peu près au double du poids de l'obélisque, indépendamment de ce qu'exigerait le frottement très-considérable des tourillons, tandis que, par l'autre méthode, on n'a besoin que d'une force motrice équivalente à la moitié à peu près du poids de l'obélisque.

363. Le pape Sixte V demanda aux savans et aux artistes les plus distingués de son temps, des projets pour le transport et l'érection de l'obélisque du Vatican qui n'était pas abattu comme les autres ; c'était le seul qui fût encore debout, mais il se trouvait placé dans une position très-désavantageuse derrière l'ancienne sacristie de Saint-Pierre. Il s'agissait de le transplanter du lieu où il se trouvait, au milieu de la grande place, devant la façade de l'église. Plus de cinq cents personnes concoururent de toutes les parties de l'Europe ; il en vint de la Grèce

et de Rhodes; et ils présentèrent des plans et des modèles. Le plus grand nombre s'accordait à penser qu'il était convenable de transplanter l'obélisque debout, et ils croyaient qu'il était bien plus sûr, plus simple et plus facile de le transporter et de le placer de cette manière, que de le coucher à terre pour le traîner jusqu'au lieu qu'on lui avait destiné pour le dresser de nouveau. Je pense également que ce procédé aurait été préférable et incomparablement plus économique. On aurait d'abord pu détacher l'obélisque de son piédestal, où il était scellé, au moyen de grands leviers et surtout de fortes vis; nous avons vu, en parlant du transport du rocher de Pétersbourg, quel effort étonnant on peut obtenir des vis, puisque douze seulement suffisaient pour élever cette énorme masse qui pesait trois millions de livres. On aurait ensuite disposé un grand traîneau sous la base de l'obélisque; on l'aurait affermi avec plusieurs pièces de bois disposées en forme d'arc-boutant entre le traîneau et l'obélisque même, ce qui ne lui aurait pas permis de vaciller en aucune manière. Mais il était indispensable de consolider parfaitement le chemin que l'appareil devait parcourir, de le rendre très-uni, et d'en ôter soigneusement toutes les irrégularités. De cette manière, en supposant, d'une part, l'obélisque bien affermi sur son traîneau, et de l'autre le chemin très-uni et très-solide, on ne pouvait raisonnablement appréhender aucun accident, et la dépense aurait été modique.

364. Le projet de Domenico Fontana fut néanmoins adopté, et il fut mis en exécution avec tout le succès qu'on pouvait désirer. Ce projet était de former, 1°. un grand échafaud autour de l'obélisque, d'établir plusieurs moufles à son sommet, de combiner ces moufles avec des cabestans; 2°. de détacher avec cet appareil l'obélisque de sa base; 3°. de le coucher sur un grand traîneau; 4°. de le traîner au lieu qui lui était destiné;

5°. de démonter l'échafaud, et de le replacer autour de l'emplacement où devait se faire l'érection; 6°. de l'ériger enfin, en se servant des mêmes cabestans et moufles qui avaient déjà servi pour détacher l'obélisque de son piédestal et le coucher à terre.

365. Domenico Fontana voulut, avant de mettre la main à l'œuvre, déterminer exactement le poids de l'obélisque : il en mesura donc les dimensions avec toute l'exactitude possible et il reconnut soigneusement la gravité spécifique du granit dont l'obélisque était composé; nous avons déjà dit (262) que son poids était de 694,000 livres. Il fit ensuite plusieurs expériences pour rechercher quel était l'effort qu'il pouvait obtenir d'un grand cabestan, mû par deux chevaux et seize hommes, combiné avec des palans, ayant quatre poulies à chaque moufle; et il reconnut que cet effort était équivalent à plus de seize milliers. Ainsi donc, sachant qu'avec quarante de ces cabestans, il pouvait obtenir un effort de 640 milliers, il résolut de n'en employer que ce nombre, et de suppléer au reste, par le moyen de cinq énormes leviers de 22 mètres de longueur. De cette manière, il avait plus de force qu'il ne lui en était nécessaire, et, en tous cas, il pouvait toujours, sans inconvéniens, ajouter d'autres cabestans. Mais plusieurs habiles personnes croyaient que l'on ne serait jamais parvenu à faire agir avec union, un si grand nombre de cabestans, et que ceux d'entre eux qui auraient agi avec plus de vigueur, se trouvant surchargés d'une plus grande grande portion de poids, auraient brisé leur câble. Fontana n'eut néanmoins aucune crainte à cet égard; car, ayant éprouvé les cabestans, les poulies et les câbles, il savait qu'ils étaient assez solides pour supporter même un effort plus considérable que celui qui aurait pu y être exercé par les moteurs; et il réfléchissait en même temps que, n'étant

pas possible que ces moteurs fissent tourner les cabestans, lorsqu'ils seraient surchargés au-delà de leur force, ils devraient nécessairement s'arrêter, tandis que les autres n'auraient eu à surmonter qu'une moindre résistance, en continuant à tourner jusqu'à ce que l'effort se fût trouvé également partagé entre tous. Il ordonna cependant, qu'après avoir fait trois ou quatre révolutions, les cabestans dussent s'arrêter, parce qu'en touchant les cordes et en trouvant quelques-unes trop tendues, on dut les relâcher.

366. Après avoir fait les susdites épreuves, Fontana fit aplanir et déblayer l'emplacement qui était autour de l'obélisque, pour pouvoir y planter l'échafaud, et y établir ses quarante cabestans. Le grand poids de l'échafaud, et l'effort qu'il devait supporter, auraient pu faire fléchir le terrain sur lequel il devait être assis; on forma donc, autour de la base de l'obélisque, un lit de grosses pièces de bois, étendues jointivement l'une à côté de l'autre; ce lit en était surmonté par un autre semblable, mais dont les pièces de bois étaient mises en sens contraire, et croisaient les premières. Cette solide plate-forme en bois avait la figure d'une croix, dont chacune des branches commençait à une des quatre faces de l'obélisque, se prolongeait en dehors de 11 mètres, et avait 7 mètres de largeur. C'est dans cette plate-forme qu'étaient insérés les huit grandes colonnes, et les arcs-boutans de l'échafaud; mais ils ne pénétraient que le second lit de la plate-forme, où l'on avait pratiqué de grandes mortaises pour les recevoir, et leurs bases inférieures reposaient sur le premier lit. Les figures 1, 2, 3 (planche XIII) représentent cet échafaud, et le paragraphe (302) en donne la description.

367. On recouvrit ensuite l'obélisque avec le revêtement que nous avons décrit (256). En même temps, on plaçait les cas-

bestans, on amarrait les moufles au sommet de l'échafaud. Le numérotage de tous les cabestans, et les moufles qui correspondaient à chacun d'eux, servaient aux personnes que l'on devait placer sur l'échafaud, et pour faciliter l'examen attentif des câbles et des moufles pendant le travail, et pour qu'ils pussent transmettre sur-le-champ et sans confusion les ordres convenables à chaque cabestan. Quand tous les cabestans et les moufles furent disposés, on commenca à faire tourner chaque cabestan par 4 chevaux, pour tendre les cordes également, et ensuite les arrêter à ce point. On avait interdit, sous peine de mort, l'entrée de l'enceinte où l'appareil était disposé, à toute personne, à l'exception de celles qui y étaient employées. On plaça, à chaque cabestan, deux directeurs qui devaient régler son travail, suivant les ordres qu'on leur aurait transmis. Un trompette était placé dans un lieu éminent, où il pouvait être vu par toutes les personnes employées dans cette opération; le son de la trompette indiquait qu'on devait faire tourner les cabestans, et le son d'une cloche placée au sommet de l'échafaud, était le signal convenu pour que tous s'arrêtassent. Vingt chevaux, et vingt charretiers, furent mis en réserve pour donner du renfort, en cas de besoin. Il y avait outre cela dix personnes intelligentes, qui examinaient sans cesse tous les appareils pendant le travail, afin qu'il n'arrivât aucun désordre. Une compagnie de vingt hommes servait à transporter, d'un lieu à l'autre, les cordes et les instrumens, et on les avait placés dans un lieu élevé, d'où ils pussent facilement comprendre les commandemens qu'on leur transmettrait. Douze charpentiers étaient postés sous l'échafaud, pour avoir soin de frapper continuellement des coins de bois ou de fer, sous la base de l'obélisque. Ces coins produisaient deux effets, l'un, était de contribuer à détacher l'obélisque de son piédestal, l'autre était de le soutenir quand il se

serait élevé. Tous ces charpentiers portaient un casque de fer, qui leur garantissait la tête en cas que quelque objet fût tombé du haut de l'échafaud. Trente autres charpentiers étaient distribués en divers endroits sur l'échafaud, pour qu'ils eussent soin des moufles et des amarrages, et qu'ils donnassent les avis nécessaires suivant le besoin. Cinquante-trois hommes étaient employés à manœuvrer les leviers.

368. Lorsqu'on donna le signal avec la trompette pour commencer, les cinq leviers et les 40 cabestans, furent mis en action par 907 hommes et 75 chevaux. Dans ce premier mouvement, la terre semblait trembler, et l'échafaud fit un si grand bruit, à cause des pièces de bois qui se rapprochaient dans leurs insertions, qu'on crut que quelque partie s'était brisée; mais, ayant reconnu qu'il n'y avait aucun dérangement, à l'exception d'une rupture qui s'était formée dans un des cercles de fer, qui environnaient le revêtement de l'obélisque, on y remédia au moyen d'un amarrage en corde; et ayant remis les machines en action, on éleva, en douze reprises, l'obélisque, d'à peu près 7 décimètres; cette élévation était suffisante pour pouvoir introduire le traîneau sous sa base. Dans cette grande opération, on a vu que les amarrages étaient bien plus sûrs et plus solides que les cercles en fer, puisque la plupart de ceux qui environnaient l'obélisque, se cassèrent.

369. On ôta ensuite les quatre dés qui soutenaient l'obélisque aux encoignures : on introduisit sous la base un traîneau posé sur des rouleaux, lequel avait une moindre largeur que la base, afin qu'il pût entrer, quoiqu'il y eut de chaque côté de cette base des coins de bois qui soutenaient l'obélisque. Il fallut alors le coucher sur le traîneau; à cet effet, les moufles furent disposés sur trois côtés seulement de l'obélisque; et la face, qui devait reposer sur le traîneau, resta libre; la dis-

position des cabestans fut changée aussi. Fontana, ayant prévu qu'il aurait été nécessaire d'arrêter plusieurs fois l'obélisque dans sa descente, pour y disposer des amarrages, des moufles, ou autres choses semblables, il imagina un moyen pour qu'il fût, dans toutes les positions, soutenu par un solide appui, et pour que les câbles ne fatiguassent pas trop. Ce moyen était un grand chevalet, formé par quatres poutres de 13 mètres de longueur, lesquelles étaient réunies deux à deux, au sommet, par de très-solides charnières en fer, qui permettaient aux poutres de s'ouvrir et de se fermer comme un compas; un essieu de fer, de 12 centimètres de diamètre, réunissait ces deux assemblages de poutres, lesquelles étaient insérées par leurs pieds, dans des rouleaux : ainsi, ce chevalet pouvait être ouvert et fermé à volonté, autant qu'il était nécessaire. Un autre semblable, mais plus petit, devait servir, lorsque l'obélisque, en descendant, se serait approché de plus du terrain. En se servant de ces chevalets, après les avoir introduits sous l'obélisque, on arrêtait leur écartement, en les liant à leur pied par des cordages, qui étaient, d'un autre côté, amarrés aux colonnes de l'échafaud.

370. Quatre moufles avaient été attachés à la partie inférieure de l'obélisque, et ils correspondaient à quatre cabestans, qui devaient servir pour tirer en arrière cette partie, à mesure que la supérieure descendrait. On plaça des étançons, qui devaient obliger le sommet de l'obélisque à s'abaisser, aussitôt que les quatre cabestans susdits l'auraient tiré par le pied. On eut la précaution d'amarrer cinq moufles au sommet de l'obélisque, dont les cinq correspondans étaient amarrés sur le toit de la sacristie de Saint-Pierre; ils servaient de retenue pour modérer la descente de l'obélisque. Le tout étant ainsi préparé, on mit en action les machines, et on déposa cette lourde

masse sur son traîneau. Elle fut ensuite conduite au pied du nouveau piédestal établi sur la place de Saint-Pierre (256).

371. L'échafaud fut démonté et reconstruit sur la place de St.-Pierre, autour du nouveau piédestal; les moufles et les cabestans ayant été disposés, le 10 septembre 1586, on érigea l'obélisque, par le moyen de quarante cabestans mus par 800 hommes et 140 chevaux, en suivant la même méthode qu'on avait mise en usage précédemment pour le soulever de dessus son ancien piédestal. Quatre cabestans avaient été disposés pour tirer en avant le pied de l'obélisque, à mesure que son sommet s'élevait, de sorte que les cordages des moufles tiraient toujours à plomb. L'effort pour l'élever diminuait d'autant plus qu'il s'éloignait de terre (51). L'érection fut effectuée en 52 reprises; le grand nombre de spectateurs contribua à rendre ce spectacle magnifique. Il ne restait plus qu'à ôter le traîneau de dessous l'obélisque; il fallait pour cela l'élever de quelques centimètres, ce qui fut fait en remettant en action les quarante cabestans, et en faisant agir, sous la base, quatre grands leviers de 15 mètres; après que le traîneau fut ôté, l'obélisque reposa sur les dez des angles. Cette grande opération a couté 37,975 écus romains, et elle dura une année entière.

372. L'obélisque de la place de Saint-Jean-Latran, trouvé sous les ruines du grand cirque, était brisé en trois morceaux, dont le plus grand pesait 548 milliers, et l'obélisque total 938 milliers. Il paraît être celui que *Pline* attribue à *Ramesés*. Ce fut *Dominique Fontana* qui l'érigea : il eut beaucoup d'obstacles à surmonter pour retirer cet obélisque de l'endroit où il avait été découvert, à cause de la profondeur et de la nature du sol bas et humide. Il se servit, pour l'élever sur son piédestal, des mêmes moyens dont il avait fait usage, lorsqu'il érigea celui de la place de Saint-Pierre; mais comme cet obélisque avait

une plus grande hauteur, et qu'il était composé de trois fragmens qui devaient être placés immédiatement les uns sur les autres, il fallut que l'échafaud fût plus haut et plus large. Après que l'on eut placé le premier fragment, l'architecte fut quelque temps embarrassé sur la manière de lier les autres fragmens, pour les élever, à cause de leur forme pyramidale, qui exigeait que les amarrages ou liens passassent en dessous; mais ce moyen aurait empêché de les poser les uns sur les autres; il ne pouvait pas non plus lier d'aussi grands fardeaux à des crampons, ni à des louves plantés dans sa masse. Après avoir bien réfléchi à tous ces inconvéniens, il lui vint en idée de former, dans les parties qui devaient se joindre, deux entailles en forme de croix, qui aboutissaient aux paremens opposés. Ce moyen simple lui procura les avantages de pouvoir, sans inconvéniens, faire passer les liens en dessous, de les en retirer facilement, et de réunir avec solidité ces fragmens : pour cela, il fit faire ces entailles plus larges dans le fond qu'à la surface du joint; ensuite il fit tailler, avec du granit de même espèce, des morceaux à double queue d'hirondelle, qui remplissaient en même temps les deux entailles, et qui s'enfonçaient par les quatre paremens. Ces morceaux, taillés bien juste, étaient reliés entre eux à l'extérieur, avec des crampons scellés en plomb. Ce procédé réunissait les fragmens avec tant de force, qu'il aurait été possible d'enlever l'obélisque ainsi restauré, comme s'il eût été d'une seule pièce.

373. Au milieu d'une des principales places d'Arles est un obélisque de granit Égyptien, mais sans hiéroglyphes. Cet obélisque, qui a 17 mètres de hauteur, fut tiré de terre en 1675, et élevé en 1676. On se servit pour cet effet de huits gros mâts de navire, qu'on avait dressés autour du piédestal : ces mâts étaient liés ensemble par le haut. On y avait attaché plusieurs moufles, dans lesquels passaient de gros câbles, qui étaient

tirés par huit cabestans, qu'on faisait tourner en même temps. Cette opération eut un si heureux succès, que l'obélisque, qui pèse environ deux cents milliers, ayant été suspendu en l'air, fut mis sur son piédestal en un quart d'heure.

374. *Dion Cassius*, liv. 57, rapporte que du temps de *Tibère* un grand portique de Rome inclinait de telle manière, qu'il menaçait ruine; un architecte dont on ignore le nom, environna, avec des pieux et des cordes ledit portique, de façon que toutes ses parties fussent solidement réunies, et qu'aucune ne pût ni se séparer des autres, ni changer de situation; il fortifia les fondemens, le redressa avec des machines mues par un grand nombre d'ouvriers. *Tibère* fut envieux de la réputation que cet homme s'était acquise par une opération si extraordinaire, effectuée avec tout le succès désirable : il le chassa de la ville; mais l'architecte retourna en présence de l'empereur pour le supplier de lui permettre de demeurer à Rome, et ayant brisé devant lui un verre, et à l'instant même l'ayant recomposé par l'union de tous les fragmens comme s'il n'eût pas été brisé, ce tyran le condamna à mort.

CHAPITRE VIII.

Placement des statues.

375. Un grand nombre de statues décorent à Rome la balustrade qui surmonte l'entablement du magnifique portique environnant la place de Saint-Pierre. Ces statues, dont le poids de chacune est de sept à huit milliers, furent élevées et placées d'une manière remarquable, aussi simple qu'expéditive, sans aucun échafaud. Une écoperche a suffi; elle avait 24 mètres de

hauteur, et elle était formée par l'assemblage de plusieurs poutres solidement réunies par des boulons, des frettes et des amarrages. Un fauconneau semblable à celui des engins était placé à son sommet, et affermi par des liens ; le bec de ce fauconneau ne saillait en dehors que d'un mètre. L'écoperche reposait sur une grande semelle en bois, laquelle, étant posée sur des rouleaux, rendait facile sa translation d'un lieu à l'autre; on substituait à ces rouleaux des pièces plates toutes les fois qu'on voulait fixer l'écoperche et la mettre en action. Indépendamment de plusieurs haubans qui en retenaient le sommet, un palan était amarré à sa partie postérieure : l'écoperche était posée sur sa semelle de manière à pouvoir s'incliner sur le devant, et ensuite se redresser; ces deux mouvemens s'effectuaient au moyen du palan qu'on lâchait ou qu'on retirait. Un autre fort palan pendait de l'extrémité du bas du fauconneau; c'est à son croc que l'on suspendait la statue à élever. Elle était brayée par un gros câble, qui passait et repassait plusieurs fois du croc au dessous de son socle, et ensuite environnait horizontalement cette statue à différentes hauteurs. On avait placé un grand nombre de coussinets en paille entre le câble et la statue pour qu'il ne pût la dégrader. Lorsqu'on l'élevait l'écoperche était à peu près verticale dans cette position, retenue par les haubans et le palan de derrière; mais quand elle était arrivée au point le plus élevé où elle devait parvenir, on lâchait en douceur le câble du palan de derrière, et l'écoperche, attirée par le poids de la statue, était obligée de s'incliner sur le devant, et on lui permettait de s'incliner ainsi jusqu'à ce que la statue fût à l'à plomb de son piédestal. Alors on fixait les haubans et les palans de derrière, et elle se trouvait affermie dans cette position; ensuite on lâchait le palan qui soutenait la statue, et elle descendait occuper la place qui lui était destinée.

Cette statue étant posée, on introduisait les rouleaux sous l'écoperche, et la poussant avec des leviers tandis qu'on la tenait assujettie convenablement avec les haubans, elle marchait d'un lieu à l'autre. Parvenue devant l'emplacement d'une autre statue, on amarrait les haubans et le palan de derrière à des poids fixes; on ôtait les rouleaux de dessous la semelle pour y mettre des pièces plates, on brayait cette autre statue, et on l'élevait de la même manière que la première.

376. Nous avons déjà indiqué de quelle manière on s'y prit pour transporter la statue de bronze de Louis XV, qui faisait un des plus beaux ornemens de Paris avant la révolution, depuis l'atelier du fondeur jusqu'à l'emplacement où on la posa (273, 274, 275). Nous avons aussi indiqué par quel moyen on la retira de la fosse où elle était enterrée durant la fonte; il nous reste maintenant à décrire les procédés qu'on mit en usage pour son érection. Un grand et solide échafaud, représenté figure 2, 3 (planche XIV), et décrit (303), environnait le piédestal; on y appliqua les cordages, et l'on disposa les écharpes et les moufles dans le même ordre et de la même manière pratiqués ci-devant pour extraire la statue hors de la fosse; on plaça quatre moufles de fer à six poulies, qui furent mis deux sur chacun des flancs du cheval; ces moufles, ainsi que les deux écharpes, étaient accrochés, dans les parties inférieures, à des cordages, qui, faisant plusieurs tours, embrassaient le cheval par-dessous le ventre, et tous étaient en correspondance avec un pareil nombre de moufles et d'écharpes supérieurs, attachés à des cordages particuliers, qui, passés et repassés sur de forts sommiers de charpente, les tenaient suspendus en l'air. Ces moufles et ces écharpes ainsi mis en place, on y plaça les câbles, qui, roulant sur les différentes poulies et attirés par autant de treuils qu'il y avait de moufles et d'écharpes, devaient

servir, quand il serait temps, au guindage de la statue. Pour la mettre plus que jamais à l'abri de tout dommage, on redoubla de soin dans l'application des coussins de cuir remplis de bourre à toutes les places où les cordages, joignant de trop près la surface du bronze, pouvaient y laisser des impressions de frottement dont les suites auraient été fâcheuses. On voulut aussi n'employer que des câbles neufs, et qu'on les eût auparavant fait passer à l'épreuve, et sur l'effet desquels on ne pût compter. On avait suspendu aux plus gros de ces cordages jusqu'à 25 milliers de poids pendant trente heures, et ils n'avaient pas souffert la moindre altération.

377. Quand il fallut tirer la statue hors de la fosse, il ne s'agissait que de la soulever et de la faire redescendre, sans s'écarter en rien du point d'où elle était partie. Dans l'érection, il fallait non seulement après l'avoir fait monter à une certaine hauteur, l'y soutenir suspendue; mais, dans cette situation, elle devait être conduite en avant sans gêne et en ligne directe, dans une longueur d'environ quatre toises, jusqu'à ce qu'elle fût arrivée au droit du piédestal sur lequel elle devait être érigée. Cette marche ne se pouvait faire avec trop de précision et de justesse. Il fallait s'attendre encore à la nécesité de faire mouvoir la figure sur les côtés, et de l'amener de droite à gauche lors de la pose, pour la faire tomber juste dans les trous de scellement. On fournit à tous ces besoins au moyen d'un châssis mouvant, qui fut établi au faîte de l'échafaud (Voyez fig. 2, planche XV), environ à 45 pieds du sol de la place, et qui surmontait ledit échafaud de près de 15 pieds; il portait à son sommet deux forts sommiers, auxquels étaient suspendus, avec des cordages, les écharpes et les moufles supérieurs, et tandis qu'il marchait, les câbles, qui passaient tant dans les écharpes que sur tous les moufles, manœuvraient au moyen des treuils,

dont il y en avait deux pour les écharpes; lesquels étaient placés sur de petits échafauds au haut du châssis, l'un en avant, et l'autre en arrière; les quatre autres, pour le service des moufles, étaient appliqués plus bas sur les deux faces latérales du même châssis, deux sur chacune. Le châssis était monté sur deux rouleaux placés au devant et au derrière du châssis, lesquels étant mis en mouvement à main d'homme avec des leviers, le faisaient promener le long de deux lisses, dont étaient couronnées les deux dernières sablières, qui, sur la droite et sur la gauche, terminaient l'échafaud. Des rondelles de fer poli, mises à l'extrémité de ces rouleaux, en faisant l'office de heurtoir les y assujettissaient, ainsi qu'elles assujettissaient le châssis mouvant, en heurtant contre les pièces de bois qui, sur les côtés, en formaient la base, et par ce moyen il ne fut pas permis au châssis de s'éloigner, dans sa marche, de la ligne droite qui lui était tracée; il fallait que cette marche se fît avec le plus de célérité et le plus directement qu'il était possible : au moment que la figure équestre se trouva montée assez haut pour que les fers du scellement, dont les plus courts débordaient de 4 pieds en contre-bas le dessous des sabots du cheval; il fallait qu'ils pussent passer librement par-dessus la seconde sablière transversale de l'échafaud, c'est-à-dire à une distance d'environ trois pieds et demi plus haut que le dessus du piédestal : pour lors on attacha au pied des deux poteaux cormiers intérieurs du châssis mouvant, des câbles auxquels on fit pareillement embrasser l'entretoise inférieure du même châssis. On appliqua sur chacun une poulie dont la chape à cet effet portait en avant un crochet; on amarra vis-à-vis, à la dernière sablière de l'échafaud, de longs câbles de trois pouces de gros, qu'on fit passer sur les poulies qu'on venait d'attacher au châssis mouvant, et de là sur les deux treuils qui étaient placés en face sur la même ligne; ce qui étant exé-

cuté, des ouvriers manœuvrèrent à ces treuils, et, de concert avec ceux qui faisaient marcher d'un pas égal les rouleaux sans fin, ils amenèrent en assez peu de temps la figure équestre, toujours suspendue, jusque sur le piédestal.

378. Quelque solide que fût le grand échafaud, et quelques précautions qu'on eût prises pour le rendre stable, il ne pouvait guère manquer, vu sa grande hauteur, et les efforts que devait faire sur lui la pesanteur du poids qu'il portait, vu les secousses qu'il avait à essuyer, que les parties supérieures ne sortissent de leur aplomb, ne se rapprochassent, et ne laissassent pas un passage également ouvert dans toute la route, pour la marche du châssis mouvant; la moindre ligne de plus ou de moins y mettait obstacle; pour peu que les rondelles biaisassent, elles couraient risque de pénétrer dans la pièce de bois qu'elles parcouraient, elles pouvaient s'y engager, et le châssis se serait arrêté tout court. Pour obvier à cet inconvénient, on eut recours à des entre-toises volantes, que des ouvriers transportaient de place en place, mettaient en avant du châssis, et enlevaient à mesure qu'ils avançaient. Ce moyen réussit; il fut suffisant pour contenir la charpente, et l'empêcher de se resserrer, et de rentrer en dedans par le haut. La statue équestre ne tarda pas à arriver en ligne perpendiculaire, tant sur le devant que sur le derrière, précisément à l'endroit où il avait fallu l'amener; il ne restait plus que de la faire marcher de droite et de gauche, sur les côtés, pour faire descendre d'à plomb dans leurs trous, les fers de scellement, au cas qu'on s'aperçût qu'ils ne s'y portassent pas d'eux-mêmes avec assez de vitesse. On fit agir, dans cette intention, les deux pièces de bois appelées *coulisseaux*, figure 2 (planche XV). Deux cylindres de fer, sur lesquels posait à plat le dessous de ces coulisseaux (qui, lui-même, était revêtu d'une plate-bande de fer), les faisaient mouvoir. On pou-

vait les amener au point qu'on voulait, et les y maintenir avec des coins de fer, qui, placés à chacune des extrémités, et chassés avec précaution, les rendaient invariables. Or, comme les sommiers auxquels étaient attachés les câbles qui tenaient la statue suspendue, étaient immédiatement portés par ces coulisseaux, ils étaient forcés de suivre les mouvemens que prenaient ceux-ci, et de se porter, ainsi que la figure équestre, sur la droite ou sur la gauche, toutes les fois que le cas l'exigeait. Ayant achevé de bien prendre les aplombs, et, s'étant pleinement assuré que la statue était parvenue à sa véritable place, on lâcha doucement les câbles, et on eut alors la satisfaction de voir les fers du scellement, entrer sans difficulté dans le trou qu'on leur avait préparé.

379. Le châssis mouvant étant la partie la plus importante de l'appareil dont on se servit pour le placement de la statue de Louis XV, je crois qu'il ne sera pas inutile d'en donner des détails plus circonstanciés. Une forte charpente de 14 pieds de large, sur 13 pieds de longueur, et qui s'élevait à une hauteur à peu près pareille, composait la carcasse du châssis dont il est question. Deux fortes sablières, d'un pied d'équarrissage, et de 18 pieds et demi de longueur, couchées sur les côtés, en formaient la base, et recevaient chacune, dans des mortaises, les tenons de trois poteaux de même équarrissage, qui, posés à 4 pieds 9 pouces de distance l'un de l'autre, montaient, un peu inclinés en dedans, pour leur donner plus de force, à une hauteur de 7 pieds 6 pouces. Quatre de ces poteaux, contre lesquels buttaient, par le pied en dehors, autant de contre-fiches, formaient les encoignures des châssis; entretenus par le haut sur la longueur du châssis par un entre-toise qui les embrassait et les couronnait, ainsi que le poteau du milieu, ils étaient retenus sur les deux faces de devant et de derrière, par d'autres entre-toises,

l'une inférieure, l'autre supérieure, emmanchées dans leur milieu avec un poteau debout et deux décharges posées en guette ou de biais, pour mettre le châssis plus en état de résister à la charge; car ce fut sur les plus éminentes de ces dernières entre-toises que furent mises en même direction les pièces de bois mouvantes, appelées *coulisseaux*, et qu'on posa sur ces coulisseaux les sablières et les sommiers de bois d'orme, auxquels furent suspendus avec des cordages mis en plusieurs doubles, les moufles et les écharpes dont on se servit pour attirer et suspendre la figure équestre en l'air. Ces sablières et les sommiers, liés ensemble avec de forts cordages, portaient 18 pouces d'équarrissage, les deux premières longues de 26 pieds et éloignées de six pieds l'une de l'autre, s'étendaient dans toute la longueur du châssis, et l'outre-passaient de beaucoup. Les deux sommiers plus courts et distans seulement de quatre pieds l'un de l'autre, posaient en sens contraire sur les sablières et rien ne les surmontait. Les six treuils étaient adhérens au châssis. Des boulons de fer traversaient et fixaient en place quatre fortes échantignoles qui avaient été ajoutées sur les entre-toises au droit de chacun des quatre poteaux d'encoignure du châssis. Elles faisaient face aux têtes de l'un et de l'autre coulisseaux, qui passaient sur les mêmes entre-toises supérieures du devant et du derrière du châssis, et qui, revêtus en dessous de plates-bandes de fer roulaient sur deux cylindres aussi de fer, de 18 lignes de diamètre, et distans l'un de l'autre d'environ sept pieds. Ces coulisseaux étaient faits pour manœuvrer de droite et de gauche suivant le besoin, et c'était pour appuyer les coins de fer qui devaient les retenir au point où l'on aurait voulu les amener, et ne leur plus permettre d'en sortir, que les échantignoles étaient destinées. On coucha sur les deux dernières sablières qui terminaient l'échafaud et qui le parcouraient dans toute sa

longueur, des lisses de même équarrissage et de même étendue que les sablières. On les y coutura, après avoir pris la précaution de les dresser carrément et de les mettre tout-à-fait de niveau, et sur ces lisses on posa en travers, à une distance parallèle de onze pieds, deux rouleaux sans fin de bois d'orme, de dix pouces de diamètre et de 18 pieds de long, lesquels par cette disposition se trouvèrent dans la suite précisément à l'aplomb de ce qui faisait le devant et le derrière du châssis. On fixa sur chacune de leurs extrémités, des rondelles de fer poli, de vingt pouces de diamètre et d'un bon pouce d'épaisseur; et s'en servant comme de heurtoirs, on fit embrasser étroitement à ces rondelles, d'une part les lisses, et d'autre part les deux sablières inférieures, qui sur les côtés formaient la base du châssis mouvant, lequel après cette opération vint occuper la place qui lui était préparée au sommet de l'échafaud. Non-seulement cela le rendit mobile, mais fit prendre encore à sa marche la ligne la plus droite qu'il était possible. Les leviers de bois qui lui donnaient le mouvement, se logeaient dans des ouvertures carrées pratiquées dans ce qui excédait au dehors des deux rouleaux sans fin, qui, pour plus de résistance, étaient armés, en cet endroit, de collets de fer; les ouvertures à chaque extrémité du rouleau étaient doubles et se croisaient, afin qu'après avoir abattu un levier et fait tourner le rouleau, la même opération se pût renouveler sans interruption. Le grand point était de la conduire avec une telle uniformité, que le chassis ne fît pas plus de chemin d'un côté que de l'autre; c'est ce qui fut recommandé expressément aux ouvriers.

380. Nous avons indiqué (270, 271, 272) de quelle manière M. *Grobert*, transporta les beaux groupes de *Coustou* qui décorent l'entrée des Champs Élysées, depuis Marly jusqu'à l'emplacement qu'ils occupent maintenant; et nous avons

fait connaître comment il a pu, sans se servir d'aucune machine charger immédiatement chaque groupe sur un fardier, le descendre du piédestal et le conduire à Paris; il nous reste maintenant à décrire l'ingénieux procédé qu'il mit en usage pour élever ces groupes par un seul mouvement vertical, et au moyen de l'action de huit ouvriers seulement. Les machines dont il se servit à cette occasion se voient dans la grande salle d'entrée du Conservatoire des Arts et Métiers. Le groupe ayant été conduit sur les fondations du piédestal, disposé de la même manière et dans des points correspondans précisément à ceux qu'il devait occuper au sommet du piédestal, lequel ne devait être construit qu'après l'élévation du groupe, on planta tout autour un échafaud; les poteaux, les sablières, et les décharges ou étaies qui les contenaient, furent posés et affermis par des ferrures dans les endroits convenables. La surface de la place de Louis XV étant environnée par des fossés, les piédestaux des groupes devaient être élevés sur l'aplomb du parement intérieur d'un de ces fossés: conséquemment on établit une charpente dans les terrains bas, pour soutenir les semelles de l'échafaud de ce côté. On adossa, à la partie inférieure de l'échafaud, deux treuils à engrenage, et ils y furent liés solidement par des plates-bandes de fer et des boulons. Le mécanisme adapté à ces treuils était une espèce de levier de Garouste. Un support de fer, formé par trois branches fortement boulonnées sur le plancher, une verticale au milieu, deux également inclinées de chaque côté, se réunissant au sommet, formaient dans son épaisseur un palier ou point d'appui intermédiaire sur la longueur de l'axe. Près du support se trouvaient deux roues dentées, dont le croisillon était entaillé dans l'épaisseur du treuil. Une roue *à rochet* était placée entre les deux roues susdites, et son axe portait deux pignons qui engrenaient avec elles; un grand levier

placé au-dessus était garni d'une fourchette de fer, qui jouait librement; mais qui était pressée latéralement par un ressort. Cette fourchette était disposée de façon à accrocher une dent de la roue à *rochet*, chaque fois qu'on abaissait le levier, ce même levier, en se relevant entraînait la roue susdite, et avec elle les pignons et les roues dentées fixées au treuil. Derrière la roue à rochet était un *cliquet* pressé par un ressort pour la retenir à chaque mouvement alternatif du levier: en dehors des montans qui supportaient le treuil, étaient aussi deux petits cliquets, pour plus de sûreté au cas qu'une dent de l'engrenage se cassât. Quatre gros câbles enveloppaient les deux treuils, et soutenaient le groupe, après avoir passé sur des poulies qui se trouvaient au sommet de l'échafaud. Quatre hommes manœuvraient le levier de chaque treuil, et d'autres tenaient en retraite et faisaient filer les câbles à mesure qu'ils s'enveloppaient sur les treuils. Lorsque le groupe fut arrivé à la hauteur où il devait parvenir, il fut soutenu par des barres de fer appuyées sur l'échafaud. On construisit ensuite le piédestal, et le groupe y fut déposé. La méthode adoptée par M. *Grobert* pour le transport et le placement des groupes en question, est très-ingénieuse et digne d'éloges; mais j'aurais préféré l'usage des cabestans combinés avec des moufles, à celui des treuils à levier d'engrenage.

381. M. *Loriot* imagina un procédé en apparence très-simple; mais dont l'usage serait extrêmement embarrassant pour élever et poser une grande statue sur son piédestal. Qu'on suppose un grand échafaud construit autour du piédestal, et qu'un grand nombre de poulies fixées soient amarrées à son sommet; après avoir lié la statue avec plusieurs câbles, on fait passer ces câbles sur les poulies, et on attache à leur extrémité libre des caisses dans lesquelles on place des poids. On com-

prend facilement comment, avec ces poids, on peut non-seulement élever la statue, mais encore lui communiquer des mouvemens obliques : il suffit pour cela de charger plus la caisse d'un côté que celle de l'autre.

Cette invention de M. *Loriot*, au moyen de laquelle un seul enfant peut élever une masse très-pesante, est, suivant mon avis, plus ingénieuse qu'utile.

FIN.

Pl. I.

